

LUTÉCIA BEATRIZ CANALLI

**INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE PREPARO E DA
CORREÇÃO DO SOLO, PRÉ-IMPLANTAÇÃO,
NA CONDIÇÃO HÍDRICA DE UM LATOSSOLO
VERMELHO ESCURO SOB PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada ao Curso
de Pós-Graduação em Agronomia,
Área de Concentração "Ciência do
Solo", Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção
do grau de Mestre em Agronomia.

Prof. orientador: Glaucio Roloff

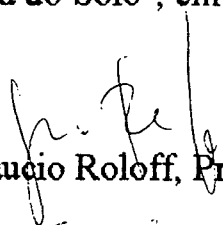
CURITIBA
1993

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"**

P A R E C E R

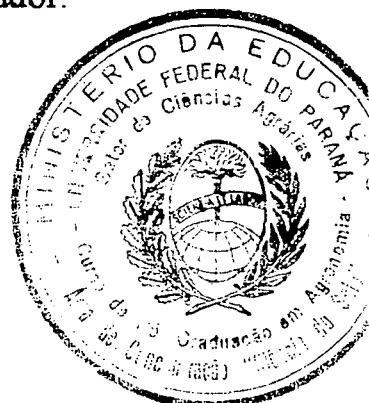
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **LUTÉCIA BEATRIZ CANALLI**, com o título: **"Influência de métodos de preparo e da correção do solo pré-implantação, na condição hídrica de um Latossolo Vermelho Escuro sob plantio direto"** para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação com o conceito **"B"** completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 17 de dezembro de 1993.


Prof. Ph.D. Glaucio Roloff, Presidente.


Engo. Agro. Dr. Renato Antonio Dedecek, II Examinador.


Prof. Dr. Celso Luiz Prevedello, II Examinador.



Somos criaturas passageiras, seres em transformação, meras possibilidades. Não somos perfeitos. Não somos completos. Sempre porém que passamos da potência ao ato, da possibilidade à realização, compartilhamos do verdadeiro Ser, tornamo- nos um grau mais próximo do perfeito e do divino. Isso é realizar-se.

Hermann Hesse

Dedico a

GABRIEL (meu filho)

AGRADECIMENTOS

- Prof. Ph.D. Gláucio Roloff e Prof. Ph.D. Celso Luiz Prevedello pela orientação no decorrer do trabalho e pela amizade e confiança.
- Professores do Curso de Pós-Graduação pela atenção e sugestões.
- Companheiros do Curso de Pós-Graduação, em especial Jucinei Comin e Cássio Tormena pelo auxílio na obtenção dos dados.
- Todos os funcionários do Departamento de Solos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial Elda Nazaré Leite Lubasinski, Rui Barbosa da Silva e Hélio dos Santos.
- Prof. Paulo Justiniano Ribeiro Jr. do Departamento de Estatística da UFPR, pela assessoria e elaboração das análises estatísticas.
- Funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, em especial Evelyn da Silva, Liliana Luiza Pizzolato e Maria Helena Lourenço Carvalho pela atenção e orientação.
- Graduandos em agronomia Luiz Carlos Tessaro e Jocilene do Rocio Trentin pelo apoio em campo e laboratório na obtenção dos dados.
- Engenheiro agrônomo Alexandre Nunes Leite Rosas pelo apoio na instalação dos equipamentos a campo.
- Meus pais, irmãs e companheiro pelo apoio, estímulo e compreensão nos momentos difíceis.
- Companheiro de trabalho Juarez Cordeiro de Oliveira pelo apoio.
- Eng. agr. João Carlos Moraes de Sá (Fundação ABC) e Eng. agr. Nelson Freire (Coop. Batavo) pelo apoio.
- A todos aqueles que participaram durante alguma fase do trabalho e de alguma forma contribuíram para a realização do mesmo.
- Fundação ABC pelo apoio financeiro.
- Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

ÍNDICE

Resumo/abstract

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVOS GERAIS	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1. A INFLUÊNCIA DO PREPARO DO SOLO NO USO DA ÁGUA E NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	4
3.2. A INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA NO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO	11
3.3. A INFLUÊNCIA DA POROSIDADE NO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	14
3.4. A INFLUÊNCIA DA ÁGUA DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	17
3.5. A INFLUÊNCIA DO pH DO SOLO NO USO DA ÁGUA PELAS PLANTAS	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	25
4.2. TRATAMENTOS	25
4.3. SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO	26
4.4. INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	30
4.5. PARAMETROS DETERMINADOS	31
4.5.1. Curva de retenção da água no solo	31
4.5.2. Densidade das partículas e densidade do solo	31
4.5.3. Porosidade total, microporosidade e porosidade de aeração	31
4.5.4. Capacidade de água prontamente disponível	32

4.5.5. Potencial da água no solo	32
4.5.6. Armazenamento de água no solo	33
4.5.7. Perda e recarga de água no solo	33
4.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4.6.1. Delineamento experimental para a cultura do milho	33
4.6.2. Delineamento experimental para a cultura da soja	34
5. RESULTADOS	35
5.1. CULTURA DO MILHO	35
5.1.1. Perda e recarga de água no solo	35
5.1.2. Potencial da água no solo	38
5.1.3. Armazenamento da água no solo	38
5.1.4. Capacidade de água prontamente disponível	45
5.1.5. Porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo	45
5.2. CULTURA DA SOJA	53
5.2.1. Perda e recarga de água no solo	53
5.2.2. Potencial da água no solo	57
5.2.3. Armazenamento da água no solo	57
5.2.4. Capacidade de água prontamente disponível	62
5.2.5. Porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo	62
6. DISCUSSÃO	70
6.1. DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO	70
7. CONCLUSÕES	76
8. RECOMENDAÇÕES	77
9. ANEXO	78
10. LITERATURA CITADA	92

LISTA DE QUADROS

1. Tratamentos de preparo do solo, calagem e profundidades	27
2. Rotação de culturas utilizadas durante o período de duração do experimento	27
3. Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura do milho	36
4. Análise de variância da capacidade de água prontamente disponível para a cultura do milho	46
5. Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo para a cultura do milho	48
6. Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	54
7. Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	54
8. Análise de variância da capacidade de água prontamente disponível para a cultura da soja (tratamentos A, B e C, com calcário)	63
9. Análise de variância da capacidade de água prontamente disponível para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	63
10. Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo para a cultura da soja (tratamentos A, B e C, com calcário)	64
11. Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	68

LISTA DE QUADROS DO ANEXO

A1. Resultados da análise granulométrica após a instalação do experimento	79
A2. Resultado da densidade das partículas (g/cm^3) por tratamento de preparo	80
A3. Caracterização química do solo previamente à instalação do experimento	80
A4. Produtividade das culturas de milho (híbrido P 3230) e soja (variedade Iguaçu) em Kg/ha	80
A5. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) no período de 12 à 26/12/89 para a cultura do milho	81
A6. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) no período de 16 à 30/01/91 para a cultura da soja	81

LISTA DE FIGURAS

1. Croquis da área experimental com a disposição dos tratamentos	28
2. Disposição dos tensiômetros no campo	29
3. Perda de água no solo (m) em função do preparo do solo para a cultura do milho	37
4. Recarga de água no solo (m) em função do preparo do solo para a cultura do milho	37
5. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento A, com calcário)	39
6. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento A, sem calcário)	40
7. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento B, com calcário)	41
8. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento B, sem calcário)	42
9. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento C, com calcário)	43
10. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento C, sem calcário)	44
11. Capacidade de água prontamente disponível (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura do milho	47
12. Porosidade total do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura do milho	49
13. Microporosidade do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura do milho	49
14. Microporosidade do solo (m^3/m^3) em função do método de preparo para a cultura do milho	51

15. Porosidade de aeração do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura do milho	51
16. Densidade do solo (Mg/m^3) em função da profundidade para a cultura do milho	52
17. Perda de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A,B e C, com calcário)	55
18. Recarga de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	55
19. Perda de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	56
20. Recarga de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	56
21. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento A, com calcário)	58
22. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento A, sem calcário)	59
23. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento B, com calcário)	60
24. Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento C, com calcário)	61
25. Capacidade de água prontamente disponível (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja	64
26. Porosidade total do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	65
27. Porosidade de aeração do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	65

28. Microporosidade do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	67
29. Densidade do solo (Mg/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)	67
30. Porosidade total do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	68
31. Porosidade de aeração do solo (m^3/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	69
32. Densidade do solo (Mg/m^3) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)	69

LISTA DE FIGURAS DO ANEXO

A1. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, com calcário, para a cultura do milho	82
A2. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, sem calcário, para a cultura do milho	83
A3. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, com calcário, para a cultura do milho	84
A4. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, sem calcário, para a cultura do milho	85
A5. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, com calcário, para a cultura do milho	86
A6. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, sem calcário, para a cultura do milho	87
A7. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, com calcário, para a cultura da soja	88
A8. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, sem calcário, para a cultura da soja	89
A9. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, com calcário, para a cultura da soja	90
A10. Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, com calcário, para a cultura da soja	91

RESUMO

A condição hídrica do solo, para a cultura do milho e da soja, foi avaliada nos dois primeiros anos após a implantação do sistema de plantio direto, em função dos métodos de preparo (arado de discos à 20 cm, arado de aivecas à 35 cm e arado rotativo à 60 cm de profundidade), dos níveis de calcário (com 70% de saturação de bases e sem calcário) prévios à instalação do sistema e das diferentes profundidades (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80cm). O estudo foi realizado na estação experimental da Cooperativa Batavo no município de Ponta Grossa - Paraná, em um Latossolo Vermelho Escuro. Os parâmetros analisados foram a perda e recarga de água no solo, o potencial matricial da água no solo, o armazenamento da água no solo, a capacidade de água prontamente disponível, a porosidade e a densidade do solo. Os níveis de calcário não mostraram diferenças estatísticas significativas. Perda e recarga de água no solo, para a cultura do milho, apresentaram diferenças com relação ao preparo do solo, provavelmente por ser a segunda cultura do sistema de plantio direto, sofrendo ainda forte influência do preparo. Para a cultura da soja, houve diferença somente com relação à profundidade. A capacidade de água prontamente disponível foi menor na camada de 0 à 20 cm quando comparado à camada de 20 à 40 cm, evidenciando que a compactação superficial, provocada pelo sistema de plantio direto, está afetando negativamente a condição hídrica do solo. O armazenamento de água no solo, para ambas as culturas, foi maior na camada de 0 à 20 cm de profundidade. O preparo do solo à 60cm de profundidade, além de promover a mistura de horizontes, consumir mais energia e calcário, não trouxe nenhum benefício adicional ao solo, sendo portanto, questionável técnica e economicamente.

ABSTRACT

Soil water in corn and soybeans was evaluated in the two first years of the tillage, as affected by tillage method (disk plow at 20 cm, moldboard plow at 35 cm and rotary plow at 60 cm deep), liming levels (without and with lime to 70% base saturation) prior to no-tillage, and depth (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80cm). The experiment was conducted on the Batavo Coop. Experiment Station in the municipality of Ponta Grossa - Paraná, on a Dark Red Latosol. Parameters measured were soil water loss and recharge, soil water matric potential, water storage, easily available water capacity, porosity and bulk density. Liming levels were not statistically significant. Soil water loss and recharge for the corn crop showed significant differences in relation to tillage system, probably because this second summer crop under no tillage was still suffering strong influence of the previous tillage. For the soybean crop, the only difference was in relation to depth. Easily available water capacity was smaller in the 0-20cm layer when compared to the 20-40cm layer, suggesting surface compactation is negatively affecting soil water behavior. Water storage was greater in the 0-20cm layer for both crops. Tillage to 60cm did not bring any additional benefit to the soil and promotes mixing of horizons, uses more energy and more limestone. It is thus highly questionable from technical and economical standpoints.

1. INTRODUÇÃO

O método do plantio direto está sendo amplamente difundido pelas suas grandes vantagens, que incluem a conservação do solo e da água e a maior eficiência na utilização dos insumos adicionados. Sua efetividade na conservação da água se dá pela ação da camada de palha formada sobre a superfície do solo, impedindo o impacto direto das gotas da chuva e maximizando a infiltração. Isto, aliado a uma diminuição na evaporação, proporciona uma maior umidade do solo comparativamente aos sistemas com revolvimento. Foi através do plantio direto que a região dos Campos Gerais, no Paraná, se destacou em termos de manejo conservacionista e, conseqüentemente, tem conseguido maiores produtividades.

Apesar das grandes vantagens, existem alguns problemas potenciais em áreas com muitos anos de uso com plantio direto. Técnicos e agricultores mencionam a dificuldade de correção dos níveis de pH e eventualmente fósforo, e a compactação do solo causada pelo tráfego de maquinário sem o posterior revolvimento do solo.

A compactação do solo modifica sua estrutura, alterando a distribuição e tamanho de poros, afetando negativamente o armazenamento de água no solo e sua redistribuição. Solos compactados apresentam menor volume total de poros e uma menor proporção de macroporos. Isto resulta em uma menor capacidade de armazenamento e em maiores perdas de água por escoamento superficial devido a menor infiltrabilidade.

As propriedades hidráulicas do solo são, portanto, grandemente afetadas pelo sistema de cultivo do solo, de modo que alterações na geometria do espaço poroso produzidas pelo preparo do solo, e refletidas na porosidade total, distribuição e tamanho de poros, terão importantes efeitos sobre as funções hidráulicas do solo.

Dentro do sistema de produção agrícola, a estrutura do solo está diretamente relacionada com o ambiente radicular e as condições de tráfego de maquinário na superfície. Um maior conhecimento do papel da estrutura do solo, com suas variações próprias ou induzidas,

possibilita um aprimoramento na habilidade do agricultor em deliberadamente manipular o ambiente edafológico para uma produção agrícola mais eficiente, com um mínimo de degradação do meio ambiente. As propriedades hidráulicas do solo são funções que caracterizam os processos de retenção e transmissão de água no solo, e podem ser utilizadas como parâmetros para a avaliação funcional do efeito das modificações impostas à estrutura do solo (ROLOFF,1986)¹.

Associado as condições físicas do solo, a condição química, principalmente com relação à acidez, é de fundamental importância e determina a profundidade de enraizamento das plantas, proporcionando um melhor aproveitamento da água e nutrientes armazenados no solo, desde que as mesmas assim o permitam. As espécies comercialmente importantes, de um modo geral, não se desenvolvem em solos com alta saturação de alumínio. A profundidade de incorporação dos corretivos limita o volume de solo explorado pelas raízes. Como no plantio direto não há revolvimento do solo, o uso de corretivos fica limitado à superfície e as condições químicas com o tempo vão se alterando, podendo tornar o solo ácido e, conseqüentemente, pobre em nutrientes.

¹ROLOFF, G. 1986. Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo. 91 p.(não publicado)

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Este estudo faz parte de um projeto onde estão sendo avaliados a fertilidade do solo e a produtividade das culturas, algumas características físicas relacionadas ao ambiente radicular, o desenvolvimento de raízes e o uso da água no solo associado atividade radicular, pelo período de seis anos após a implantação do sistema de plantio direto. É fruto de uma cooperação técnica entre a Universidade Federal do Paraná - Curso de Pós-graduação em Agronomia e a Fundação ABC. Os objetivos gerais deste projeto são: (1) determinar qual o método de preparo e correção do solo é o ideal para a implantação deste sistema de plantio, no sentido de proporcionar condições físicas e químicas adequadas para um bom desenvolvimento de plantas; (2) definir a necessidade e a eventual frequência de revolvimento do solo para as correções das características físicas e químicas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente estudo tem por objetivo a caracterização da condição hídrica do solo, para a cultura do milho e da soja, nos dois primeiros anos de adoção do sistema de plantio direto, em um Latossolo Vermelho Escuro, em função dos métodos de preparo e da calagem prévios à instalação do sistema e das profundidades de amostragem, visando avaliar:

- 1) a perda e a recarga de água no solo;
- 2) a capacidade de água prontamente disponível para as plantas;
- 3) o armazenamento de água no solo;
- 4) o efeito dos métodos de preparo para a condição hídrica do solo;
- 5) o efeito dos níveis de calcário como regulador do desenvolvimento radicular, facilitando ou dificultando a extração de água pelas plantas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. A INFLUÊNCIA DO PREPARO DO SOLO NO USO DA ÁGUA E NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Entre as propriedades do solo afetadas pelo preparo, as propriedades e processos hidráulicos do solo são os mais importantes (HORTON et. al., 1989). Assim, a condição física de um solo influencia a quantidade de água e nutrientes absorvidos pelo sistema radicular. Os efeitos podem ser através daquelas propriedades, as quais governam a habilidade em reter e conduzir água e nutrientes, ou indiretamente através dos efeitos sobre o desenvolvimento e função radicular (EAVIS e PAYNE, 1969).

Alguns aspectos estruturais produzidos pelo preparo do solo e plantio das culturas são transitórios, mas sua reorganização estacional progressiva pode alterar as propriedades hidráulicas do solo e o suprimento de água as culturas. Um solo preparado convencionalmente contém inicialmente maior número de poros condutores e então conduz a água mais rapidamente para dentro do subsolo, sendo essa situação apenas transitória. Um solo sob plantio direto, por outro lado, tem vantagens, particularmente em relação aos aspectos de movimento de água insaturado, relevante para ganhos e perdas de água na zona radicular (HAMBLIN, 1982; HILL et. al., 1985). Assim, a densidade do solo e o conteúdo de água são geralmente menores para solos arados, logo após o preparo, que para solos sob plantio direto. Solos preparados também têm maior porosidade total e maior permeabilidade. O conteúdo de água e a densidade do solo geralmente mais altos no plantio direto resultam em um espaço poroso completo com água e mais água retida pelos materiais orgânicos, quando comparado com solos revolvidos (MIELKE et. al., 1986). Estes autores preconizam que, com o maior uso de sistemas de plantio direto, torna-se muito importante manejar a matéria orgânica da

superfície para máximo benefício físico do solo e manejar a compactação de vazios do solo através do controle das operações de equipamentos de campo em zonas de tráfego.

A quantidade de água disponível para as plantas, i.e., o conteúdo volumétrico de água entre a capacidade de campo (-10 KPa) e o ponto de murchamento (-1500 KPa) pode ser fortemente afetado pelo preparo e tráfego (Boone,1988). O preparo deforma o solo ao aplicar carga e forças de cisalhamento e compressão. Cada implemento de preparo tem uma aplicação de forças espacialmente única. O tipo de tração, transporte e instrumento de controle da profundidade de operação dos equipamentos de preparo podem produzir uma compactação do solo que excede a profundidade de ação do implemento de preparo, alterando a resposta da pressão no solo e/ou recompactando camadas do solo (HORTON et al.,1989).

GERIK et al. (1987) conduziram um estudo para determinar o efeito do tráfego controlado sobre propriedades físicas do solo e desenvolvimento radicular para plantio direto e preparo convencional em um solo argiloso expansivo. As propriedades físicas do solo, incluindo resistência do solo, densidade do solo e porosidade total, não foram diferentes entre tratamentos de preparo na área não trafegada durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, mas a resistência do solo e a densidade do solo foram mais altas na linha trafegada do plantio direto quando comparada com o preparo convencional. A compactação do solo na linha trafegada ficou confinada à camada superior do solo (15 cm) e não restringiu o desenvolvimento radicular nos estágios preliminares de desenvolvimento da cultura. A porosidade total foi mais baixa na linha trafegada do plantio direto comparado com o plantio convencional somente até a profundidade de 6 cm. O conteúdo de água no solo não foi afetado pelos tratamentos de preparo na área não trafegada e linhas de tráfego em profundidades abaixo de 15 cm. Apesar do tráfego controlado ter sido reportado como melhorador das propriedades físicas e do desenvolvimento radicular, os dados sugerem que não pode ser aplicado a todos os solos, em especial aqueles com 40% ou mais de minerais primários de

argila 2:1. A imposição de faixas de tráfego permanentes no plantio direto reduziu, nestas faixas, a densidade radicular de algodão (*Gossypium hirsutum*, L.) e sorgo (*Sorghum* sp.) nas camadas do solo de 0 a 15 cm e 0 a 30 cm, respectivamente, comparado com a área não trafegada.

As condições climáticas também influenciam os efeitos do preparo e tráfego sobre o desenvolvimento radicular. VOORHEES et. al. (1985) salientam que os efeitos do tráfego de veículos sobre o desenvolvimento e rendimento do trigo foram estreitamente relacionados com a precipitação durante o ciclo de desenvolvimento e evidenciam a necessidade de considerar prováveis condições climáticas quando são desenvolvidos sistemas de manejo para controlar tráfego de veículos no campo. Logo após o plantio, em um ano mais seco, o solo não trafegado perdeu quantidades excessivas de água por evaporação da camada revolvida (0 a 15 cm) e como resultado, o desenvolvimento do trigo (*Triticum aestivum*, L.) no solo trafegado foi melhor que no solo não trafegado, e o rendimento aumentou 53%. Dentro desta mesma linha de estudo, VOORHEES et. al. (1989) avaliaram o desenvolvimento e rendimento de milho (*Zea mays*, L.) quando afetados pela compactação de superfície e sub-superfície. Dados de perda de água do solo indicam uma menor profundidade de enraizamento e/ou redução da atividade radicular no tratamento com maior carga (18Mg/eixo). Esta carga, sobre solo relativamente úmido, compactou o solo até uma profundidade de 60 cm.

KASPAR et. al. (1991) estudaram a distribuição radicular do milho quando afetada pelo preparo, tráfego e localização do fertilizante. Analisando três sistemas de preparo (plantio direto, aração e escarificação) com tráfego controlado e dois tratamentos para localização do fertilizante (na linha e num ponto médio da entrelinha de 76 cm) concluíram que a compactação pelo tráfego e a localização do fertilizante alteram a distribuição radicular do milho a despeito do sistema de preparo adotado. A camada de 0 a 15 cm de profundidade da entrelinha compactada pelo tráfego teve menos que metade do comprimento radicular (1,27

km/m³) e peso radicular (19 g/m³) das entrelinhas não compactadas (3,88 km/m³ e 49 g/m³, respectivamente). Comprimento e peso radicular aumentaram e a relação peso/comprimento radicular diminuiu nas linhas e entrelinhas quando o fertilizante foi ali colocado. A localização do fertilizante em uma entrelinha não trafegada aumentou o comprimento radicular de 2,57 para 5,20 km/m³. O sistema de preparo afetou somente o desenvolvimento radicular nas entrelinhas não trafegadas. Como o desenvolvimento radicular em entrelinhas trafegadas é restringido, a eficiência no uso de fertilizantes pode ser melhorada pela não colocação do fertilizante nessas linhas, maximizando a interceptação deste pelas raízes. A localização subsuperficial do fertilizante pode ser preferível à superfície, porque as raízes que proliferam próximas à subsuperfície fertilizada são menos suscetíveis à seca que aquelas próximas à superfície do solo. Quando o solo seca, nutrientes próximos à superfície podem tornar-se menos disponíveis para as plantas.

MAURYA e LAL (1980) mostram que raízes de milho em monocultura foram geralmente mais abundantes na camada superficial de parcelas sob plantio direto e em camadas mais profundas de parcelas aradas, enquanto houve mais raízes de leguminosas tal como feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) e soja (*Glycine max* (L) Merrill) nas camadas mais profundas de solos sob plantio direto. O milho sob plantio direto produziu levemente menos grãos durante um ciclo normal de precipitação e mais em um cultivo sob seca prolongada quando comparado com o plantio convencional (solo arado), mas houve uma diminuição de 20% na produtividade quando o milho foi consorciado com leguminosas, em condições de ausência de stress hídrico. O autor observa ainda que o desenvolvimento atrasado de plântulas no plantio direto, pode ser parcialmente atribuído ao pobre desenvolvimento radicular durante os estágios iniciais do estabelecimento da cultura.

BARBER (1971), avaliando os efeitos de práticas de preparo sobre morfologia e distribuição de raízes de milho, observou que quando um solo franco siltoso foi arado

anualmente as raízes de milho desenvolveram-se mais extensivamente em profundidade do que onde o solo não foi preparado ou foi preparado a apenas 5 cm de profundidade. No preparo convencional as raízes foram também mais finas e mais longas, na camada de 0 a 10 cm que nos outros preparos (escarificação a 20 cm, rotativa a 5 cm e plantio direto).

SIDIRAS et. al.(1983) estudando os efeitos de três sistemas de preparo do solo (plantio direto, escarificação e preparo convencional), no comportamento da umidade do solo e no rendimento de soja, durante três anos, concluíram que, na capacidade de campo (33 KPa), o solo cultivado com soja em plantio direto, apresentou na camada de 0-20 cm uma diferença 4 a 5% superior no teor de água em relação ao preparo convencional. O rendimento médio da soja em plantio direto foi 33% superior ao obtido no sistema convencional.

ZAI et. al.(1990) estudaram os efeitos do preparo sobre variações espacial e temporal de água no solo e observaram que o conteúdo médio de água no solo no tratamento sob plantio direto a longo prazo foi maior que no tratamento plantio convencional, durante todo o ciclo da cultura do milho. O conteúdo médio de água no solo para o tratamento plantio direto por um ano foi mais baixo que para o tratamento plantio direto a longo prazo, mas mais alto que para o plantio convencional, para a maior parte do ciclo da cultura. O conteúdo médio de água no solo, significativamente mais baixo no tratamento plantio convencional, é atribuído ao aumento da evaporação causada pelo preparo secundário (gradagem), e pela baixa evaporação no plantio direto devido a cobertura de resíduos na superfície. Diferenças no conteúdo de água na camada superficial (0 a 20 cm), entre plantio direto e convencional, podem ser consideráveis, podendo persistir por muitas semanas, dependendo da quantidade e distribuição das chuvas.

OLIVEIRA et. al. (1990) avaliaram o efeito do sistema de preparo do solo nas suas características físicas e químicas e no rendimento de trigo e soja em um Latossolo Roxo. Concluíram que o preparo com grades e o preparo convencional com arado de discos apresentam o maior grau de deterioração da estrutura do solo em relação aos demais preparos

(convencional com aiveca, plantio direto, preparo mínimo com escarificador + gradagem e preparo mínimo com escarificador), expresso pelo aumento da densidade do solo e decréscimo na estabilidade de agregados em água, macroporosidade, infiltração e quantidade de água acumulada. O plantio direto com a sucessão trigo/soja em 7 anos consecutivos apresentou aumento na densidade do solo e decréscimo na macroporosidade, infiltração e quantidade de água acumulada; porém apresentou a maior porcentagem de umidade do solo, enquanto que no preparo com grade ocorreu a menor disponibilidade de água. Na profundidade de 0 a 10 cm observou-se uma redução na macroporosidade e porosidade total, e aumento na microporosidade no plantio direto, por ser um sistema onde não ocorre uma movimentação periódica do solo.

O preparo do solo, ao interferir diretamente na estrutura porosa do solo, determina também sua capacidade de armazenamento e condução de água. Solos sob preparo conservacionista (plantio direto e preparo reduzido) excederam os solos sob preparo convencional na quantidade de água retida em qualquer potencial matricial (que variou entre 0 e -39,22 KPa), exceto para zero KPa (HILL et. al., 1985). A tendência indica que solos sob preparo convencional tem maior proporção de poros maiores que $15\mu\text{m}$ quando comparado com solos sob preparo conservacionista; e estes parecem ter maior proporção de poros entre 15 e $0,1\mu\text{m}$. Pode-se inferir que solos sob preparo convencional tem condutividades hidráulicas saturadas mais altas e, portanto, drenam mais rapidamente que solos sob preparo conservacionista. Estes, por sua vez, retêm mais água disponível para as plantas e mantêm condutividades hidráulicas insaturadas mais altas.

EHLERS (1977) estudou o efeito de práticas de preparo convencional versus plantio direto sobre as propriedades hidráulicas de um Podzólico Bruno Acinzentado em Goettingen (Alemanha). Para uma dada camada do solo, a condutividade hidráulica do solo sob plantio direto e baixas tensões foi maior que aquela no preparo convencional. Este resultado era

esperado, pois há destruição da macroporosidade em solos cultivados de modo convencional. A condutividade à 20 - 30 cm de profundidade no solo cultivado de maneira convencional é bem menor que no solo sob plantio direto. Isto reflete a compactação formada pelo arado nessa profundidade.

ANDREINI e STEENHUIS (1990) estudaram o caminho preferencial do soluto através do perfil do solo com preparos convencional e conservacionista e mostraram que, na coluna sem preparo, aproximadamente todo o perfil do solo foi percorrido pelo fluxo preferencial, enquanto na coluna preparada o soluto passou através da camada arada, porém teve maiores dificuldades para atingir o perfil abaixo da camada compactada pelo arado.

Um outro exemplo de estudo do preparo do solo versus as propriedades hidráulicas do solo foi feito por ALLMARAS et al.(1977). As propriedades hidráulicas do solo foram medidas "in situ" pelo método do perfil instantâneo para avaliar os efeitos do preparo sobre o regime de água em um solo franco argiloso. A retenção de água entre -5 e -30 KPa no solo cultivado de modo convencional foi altamente reduzida quando comparada com o solo sob plantio direto. Em potenciais de água no solo maiores que -5 KPa a função de retenção de água para os dois tratamentos não teve diferenças. Em altos conteúdos de água há uma tendência da condutividade insaturada, em solos sem preparo, ser maior que em solos sob preparo convencional.

CASSEL (1980) estudando os efeitos da profundidade de preparo e profundidade de incorporação de calcário e fósforo sobre algumas propriedades físicas e químicas de dois solos franco-argilosos, depois de 15 anos, observou que o preparo em maiores profundidades aumentou a condutividade hidráulica insaturada nas profundidades de 18 a 38 e de 38 a 51 cm nos potenciais mais baixos da água no solo, isto devido a umidades volumétrica mais altas, as quais resultaram de densidades do solo mais altas e material mais finamente texturado na matriz do solo. Assim, a armazenagem de água disponível pode realmente ser diminuída para

solos preparados em maiores profundidades.

O preparo do solo, por revolver camadas do solo, perturba a estrutura porosa original do solo, alterando a proporção de macro e microporos e desestabilizando os agregados do solo. Normalmente, logo após o preparo ocorre um aumento da macroporosidade em detrimento da microporosidade e, conseqüentemente o armazenamento de água no solo fica prejudicado. Posteriormente, no entanto, ocorre uma maior compactação do solo em solos preparados. Solos sob plantio direto, apesar de apresentarem uma compactação superficial devida ao uso intensivo de maquinário sem revolvimento do solo, têm uma condição física mais favorável ao armazenamento de água e desenvolvimento radicular.

A condutividade hidráulica saturada é favorecida pela maior proporção de macroporos e, portanto, a camada superficial de solos preparados convencionalmente drenam mais rapidamente que solos sob plantio direto. Estes, por sua vez, apresentam condutividades hidráulicas insaturadas mais altas e têm maior conteúdo de água prontamente disponível para as plantas.

3.2. A INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA NO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

Os 30 cm superficiais de solos cultivados são a zona de maior mudança durante o ciclo de crescimento das culturas e geralmente têm a maior influência sobre o desenvolvimento da maioria delas. Solos sob plantio direto são protegidos por resíduos que tendem a diminuir a severidade e a frequência das mudanças cíclicas em temperatura, conteúdo de água e aeração, quando comparados com solos preparados convencionalmente (MIELKE et. al.,1986). Também, solos com pouca matéria orgânica e baixa atividade biológica são mais suscetíveis à compactação e mostram sérios prejuízos estruturais quando comparados com solos com razoável quantidade de matéria orgânica e alta atividade biológica (KEMPER B. e DERPSCHE).

R., 1981).

UNGER (1986) estudou o armazenamento e uso de água pelo milho, manejando resíduos da cultura do trigo. Considerando os preparos - plantio direto e arado de discos + grade de dentes, com dois níveis de resíduos - ele demonstrou que resíduos de cultura podem ser manejados para usar uma maior porção da precipitação para a produção do milho, reduzindo a dependência de irrigações. Contudo, a fertilidade do solo deve ser adequada para obter altos rendimentos, especialmente em parcelas com altos conteúdos de resíduos (deficiência de N, alta relação C/N). Mesmo com irrigação, parcelas preparadas com arado e grade tenderam a conter menos água que parcelas sob plantio direto em áreas com poucos resíduos.

JONES et. al. (1969) evidenciaram o efeito altamente significativo para cobertura morta mas não para preparo. O crescimento de plantas e a resposta de rendimento para os dois sistemas de preparo (convencional e plantio direto) dependeram essencialmente dos aspectos de conservação da água pela cobertura morta e das condições estruturais da superfície do solo regulando a infiltração. O escoamento superficial medido representou 27% da precipitação sobre parcelas sem cobertura morta e somente 4,5% sobre parcelas com cobertura. NISHIJIMA e RIGGES (1987) avaliaram o efeito de cinco sistemas de manejo do solo (preparo convencional, "mulching" vertical, superfície escarificada, cultivo mínimo e plantio direto) sobre o escoamento superficial na cultura do milho. Concluíram que o plantio direto, o cultivo mínimo e o "mulching" reduziram o escoamento superficial da água em 81%, 55% e 52%, quando comparados com o preparo convencional, respectivamente.

Escoamento superficial e perdas de solo através de chuva natural durante um período de 6 anos foram comparados sob preparo convencional, reduzido e plantio direto, por WENDT e BURWELL (1985). O escoamento superficial anual médio foi cerca de 20% menor para preparo reduzido que para preparo convencional ou plantio direto. Médias anuais

das perdas de solo diferiram significativamente entre métodos de preparo. As mais altas perdas foram observadas em parcelas com preparo convencional seguido por preparo reduzido, e então plantio direto.

PROVE et. al.(1980), considerando a infiltração de uma lâmina de água, mostraram que o plantio direto teve maior infiltração cumulativa de 0 a 5 minutos, mas depois de 3 minutos a infiltração cumulativa foi de 51,6 mm para ambos (plantio direto e convencional). Já sob chuva simulada houve significativa superioridade da infiltração cumulativa no sistema de plantio direto e preparo reduzido com resteva sobre o plantio convencional. Isto indica que a proteção contra o impacto direto das gotas da chuva e a redução na velocidade do escoamento superficial pela palhada favorecem grandemente a infiltração da água no solo. No plantio direto, quando comparado com o plantio convencional, há um relativo aumento do carbono orgânico na superfície do solo, bem como, um aumento significativo na estabilidade e tamanho dos agregados. Logo, a macroporosidade, responsável pela drenagem em profundidade, é também mais estável.

Em outro exemplo, para 6 anos testados, o escoamento superficial anual em uma área com milho em plantio convencional ficou em torno de 137 mm a mais que o da área sob plantio direto (EDWARDS et. al.,1990). Portanto, 137 mm a mais de água estavam potencialmente disponíveis para mover-se no solo sob plantio direto. Baseado em medidas da precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração (medida por lisímetro), a percolação em profundidade ou recarga anual do lençol freático estimada para milho em plantio convencional e direto foi 19 e 156 mm/ano, respectivamente.

A cobertura morta é, sem dúvida, um dos maiores condicionantes do armazenamento de água no solo. Ela impede o impacto das gotas da chuva diretamente sobre o solo, evitando a formação do selamento superficial, ao mesmo tempo em que proporciona menor velocidade do escoamento superficial, resultando na infiltração de uma maior proporção da precipitação no

perfil do solo. A evaporação também é reduzida pelo resíduo ao isolar a superfície do solo do contacto com a atmosfera e mantê-la em temperaturas mais baixas. Outro benefício indireto é a melhoria da condição física do solo, através do acúmulo de matéria orgânica em superfície, propiciando, desta maneira, um maior armazenamento de água.

3.3. A INFLUÊNCIA DA POROSIDADE NO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

O número e a geometria dos poros condutores de água são importantes para avaliar a influência do preparo e do tráfego sobre a infiltração. A infiltração da água será maior quanto maior o número de poros longos, grandes e verticalmente orientados, que estejam abertos para a superfície do solo (BOONE, 1988). A continuidade de poros é particularmente importante em solos agrícolas, nos quais a maioria das operações de preparo tendem a perturbar os poros, que são naturalmente contínuos, e promovem o surgimento de uma ou mais camadas estruturalmente descontínuas (ROLOFF, 1986). Sistemas de preparo do solo que mantêm a maior parte da superfície coberta por resíduos, evitam a formação do selamento superficial devido a proteção contra o impacto das gotas da chuva. Em áreas sob plantio direto à muitos anos, a proteção pelos resíduos e o alto grau de continuidade dos macroporos, pode reduzir em até 95% o volume de água que escorre superficialmente e conseqüentemente aumenta a taxa de infiltração, levando o solo a uma condição mais favorável de umidade (EDWARDS, 1982).

As operações de preparo modificam a densidade do solo e a distribuição e tamanho de poros do solo. Essas propriedades são fatores determinantes das propriedades hidráulicas do solo. A compactação do solo provoca um aumento na densidade do solo, uma redução na porosidade total, e também, um aumento na proporção de poros menores em detrimento dos maiores (KLUTE, 1982). Quanto menores os poros, mais fortemente a água estará retida e

consequentemente maior deverá ser a energia para retirá-la (REICHARDT, 1987 e KLAR, 1984).

O crescimento e a formação de raízes, bem como, a drenagem do solo, dependem da presença de um adequado número de macroporos contínuos (maiores de 50 μm). Implementos de preparo, tal como o arado, produzem macroporos na camada superficial do solo, mas simultaneamente reduzem sua continuidade dentro do subsolo (GOSS et al., 1984). Neste estudo os autores encontraram que o preparo aumentou a porosidade total na camada cultivada em relação ao plantio direto; os maiores efeitos foram o aumento do número de macroporos maior que de microporos ($< 50 \mu\text{m}$). As perdas marcadas da continuidade de poros no fundo da camada arada foram confirmadas pela medida da condutividade hidráulica na interface entre o topo do solo e o subsolo. Em geral a aração reduziu a condutividade dessa camada em um terço, mas os efeitos foram maiores nos solos argilosos, os quais tiveram uma menor condutividade. Raízes foram ativas em maiores profundidades no perfil sob plantio direto que no solo arado, evidenciado através da profundidade máxima de extração de água. Os autores enfatizaram a importância dos macroporos para a efetiva drenagem do solo através da reduzida eficiência dos canais de drenagem na presença de uma camada compactada pelo implemento de preparo. Segundo os autores, desenvolvimento e atividade radicular foram relacionados a volume de macroporos, mas foram prejudicados quando a continuidade desses poros foi reduzida ou, em solos mal drenados, quando estes tornam-se cheios de água.

Em uma revisão, HILL et al. (1985) indicam que o plantio direto não somente reduz o espaço poroso total, mas também muda radicalmente a distribuição e tamanho de poros, com desaparecimento dos poros maiores e predominância dos menores, tendo o plantio direto três vezes mais água disponível para as plantas até a profundidade de 30 cm que o preparo convencional. Observou ainda que são requeridos três a quatro anos até que os preparos que reduzem ou eliminam o revolvimento tenham uma porosidade mais favorável na camada de

zero a 15 cm, quando comparado com o preparo convencional. Existe uma tendência para o solo arado tornar-se menos poroso com o tempo, maior que para o solo sem revolvimento tornar-se mais poroso com o tempo.

MIELKE et al.(1986), estudando o ambiente físico próximo à superfície de solos arados e sob plantio direto, verificaram que as maiores diferenças em características do solo entre práticas de preparo ficaram confinadas à camada superficial de 7,5 cm. A densidade do solo foi maior e a porosidade total na camada superficial foi 10% menor para o plantio direto que para o tratamento arado. Por causa de conteúdos de água geralmente mais altos e/ou mais baixa porosidade, o espaço poroso com água na camada de 0 a 15 cm de solos sob plantio direto foi de 6 a 28% mais alto que para solos arados.

DUNN e PHILIPS (1991) conduziram um experimento para determinar o efeito de sistemas de plantio (plantio direto e preparo convencional) e diferentes culturas sobre a macroporosidade de um solo franco-siltoso bem drenado. Em junho de 1987, preparo convencional teve maiores fluxos de água que plantio direto para a faixa de diâmetro de poros equivalentes de 0,5 à 0,75 mm. Neste ano, a cevada (*Secale cereale*, L.) teve maiores valores de fluxo de água que ervilhaca (*Vicia villosa*, R.), para a mesma faixa de tamanho de poros. Em 1988, o plantio direto teve valores de fluxo de água significativamente mais altos para todo o limite de tamanho de poros. Em 1987, 73% e 80% do total do fluxo de água em -0,06 KPa de potencial foi transmitido através de poros maiores que 0,21 mm de diâmetro, no plantio direto e no preparo convencional, respectivamente. Os valores correspondentes em 1988 foram de 83% e 73%. Portanto, a maior parte da água drenada em profundidade se deu através de macroporos.

A estrutura porosa do solo define seu potencial de armazenamento de água, que é estabelecido à partir de sua microporosidade. Por outro lado, a macroporosidade e sua continuidade dentro do perfil do solo são importantes para permitir a drenagem da água em

profundidade, além de facilitar o desenvolvimento radicular.

3.4. A INFLUÊNCIA DA ÁGUA DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Dos fatores ambientais que influenciam o crescimento e a produção de culturas, aqueles que afetam o ambiente radicular são de singular importância, em condições de campo. Desse modo, a estrutura física, caracterizada pela porosidade, densidade do solo, etc, interferem na capacidade das raízes penetrarem e se ramificarem no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis (ORTOLANI et al., 1982).

A absorção potencial de água pelo sistema radicular é uma função do solo, principalmente através da difusividade da água no solo, e das propriedades radiculares, tais como: a área de contato entre a matriz do solo e a superfície radicular e, profundidade, densidade e idade das raízes (BOONE, 1988). A profundidade de enraizamento, isto é, a profundidade acima da qual 80 a 95% de todas as raízes são encontradas, é de fundamental importância na determinação da quantidade de água disponível para as plantas. A densidade radicular e o contato raiz-solo modificam a taxa de absorção de água em sentidos opostos. A compactação do solo diminui a densidade radicular, mas aumenta a área de contato raiz-solo.

A densidade radicular diminui com a profundidade, dependendo do tipo e idade da planta e das condições do solo, incluindo distribuição de água, estrutura e resistência à penetração (MARSHALL e HOLMES, 1979). A habilidade das plantas em explorar a água e os nutrientes contidos em um horizonte do solo depende grandemente da concentração de raízes neste horizonte. Por exemplo, raízes profundas fazem com que a planta seja menos vulnerável a períodos de seca. As raízes podem crescer de 1 a 50 mm/dia, dependendo do tipo de planta e do ambiente do solo em termos de estrutura, resistência, temperatura, aeração e conteúdo de água. Quando o solo está muito úmido, as condições anaeróbicas resultantes

estimulam microorganismos que reduzem nitratos e produzem substâncias tóxicas para as plantas, ao invés de dióxido de carbono (CO_2) e nitratos, que ocorrem com microorganismos aeróbicos.

BARBER et. al.(1988), estudando a distribuição radicular do milho na antese, mostraram que a densidade radicular na camada de 0 a 15 cm foi altamente correlacionada com a precipitação ocorrida durante as três semanas anteriores a antese. Isso indica que o nível de água no solo é o fator primário afetando a taxa de desenvolvimento radicular.

Um declínio progressivo do teor de água no solo na zona radicular diminui o potencial de água na planta e induz a um grupo de sintomas descritos como stress hídrico. Todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento são influenciados pelo stress hídrico e seu nível de influência é determinado pelos padrões de retirada de água e pelas relações planta-água. Padrões de extração de água e deficits de água na planta do milho foram medidos e relacionados ao desenvolvimento da biomassa da parte aérea, área foliar e densidade radicular, sob diferentes níveis de irrigação (mantido em ou acima da capacidade de campo e próximo ao ponto de murchamento), em câmaras controladas (DWYER e STEWART,1985). A densidade radicular sob os dois tratamentos mostrou um padrão diferente de biomassa da parte aérea e área foliar. A densidade radicular média no tratamento com stress hídrico foi $0,09 \text{ cm/cm}^3$ e no tratamento irrigado $0,05 \text{ cm/cm}^3$. Houve um declínio precoce na densidade radicular no tratamento com stress hídrico devido à baixa disponibilidade de água para as plantas ($< 20\%$), o que resultou em senescência prematura.

Como a falta de algum nutriente limita o rendimento da cultura, o uso de fertilizantes aumenta a eficiência no uso da água, definida como rendimento dividido por transpiração real. Este uso eficiente da água pode teoricamente ser modificado por aumento da concentração dos íons limitantes nas proximidades das raízes de superfície ou aumentando a área de superfície das raízes (comprimento das raízes) na camada do solo (TAYLOR, 1981).

Experiências mostram que, logo após as colheitas, diferentes culturas levam à diferentes condições físicas do solo (KEMPER e DERPSCH, 1981). Depois do trigo, por exemplo, foram observadas taxas médias de infiltração de 44 mm/h em 1978 e 46 mm/h em 1979, enquanto que após a soja foi 67 mm/h. Comparando taxas de infiltração de culturas substitutivas de trigo no inverno com o próprio trigo, em condições de plantio direto, houve um consistente aumento na taxa de infiltração quando culturas de cobertura foram usadas. Comparando com taxas de infiltração depois do trigo, o aumento foi acima de 416% num Latossolo Roxo e acima de 628% numa Terra Roxa Estruturada. A soja plantada sobre colza (*Brassica napus*) mostrou uma taxa de infiltração 34% maior que a soja sobre trigo. As razões porque as condições físicas do solo são melhoradas tão marcadamente sob culturas de cobertura são várias. A superfície do solo fica menos exposta à fatores climáticos como chuvas, calor, etc., que na cultura do trigo. Isto contribui para a estabilidade dos agregados. Também os sistemas de raízes, com maior densidade que o trigo, e as leguminosas mais resistentes à camadas compactadas, penetram o solo com mais facilidade, realizando o que pode ser chamado de preparo biológico do solo, sem contudo formar camadas compactadas.

DUGAS et. al. (1990) conduziram um estudo para determinar o efeito de dois tipos de solo sobre o crescimento radicular, padrões de extração de água no solo e contribuições de um lençol freático colocado a 1,0 m de profundidade para a evaporação da cultura da soja. No solo franco, valores máximos de densidade de comprimento radicular (30 Km/m^3) foram medidos imediatamente acima do lençol freático na maturidade fisiológica (133 dias após o plantio) e foram maiores em qualquer profundidade que no solo franco argiloso. Neste, valores máximos de densidade de comprimento de raízes (15 Km/m^3) foram medidos a 0,42 m, 120 dias após o plantio, com poucas raízes presentes imediatamente acima do lençol freático. No solo franco argiloso, a extração limitou-se essencialmente aos 0,40 m superiores, enquanto que no solo franco, a extração foi até 0,80 m de profundidade. Quanto maior o volume de solo

explorado, menor a possibilidade da planta sofrer com períodos de estiagem.

BARBER (1971) avaliou o efeito de práticas de preparo sobre a morfologia e distribuição radicular do milho, encontrando grande diferença no desenvolvimento radicular entre os dois anos estudados, devida provavelmente às diferentes umidades do solo nos diferentes períodos. O desenvolvimento radicular médio no ano onde ocorreu maior precipitação foi de 12mg/cm^2 , enquanto que no ano com menor precipitação alcançou a casa dos 42mg/cm^2 . A maior umidade do solo no ano de maior precipitação pode ter, ocasionalmente, reduzido a aeração do solo, resultando em menor desenvolvimento das raízes naquele ano.

MACKAY e BARBER (1985) mostraram que a taxa de crescimento radicular sobre um solo franco siltoso é máxima em conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo (-33 KPa) e cessa no ponto de murchamento (-1.500 KPa). Quando a disponibilidade de água foi 60% da capacidade de campo, o crescimento radicular foi de 70% da taxa máxima. Quando a camada superior do solo seca, a taxa de crescimento radicular aumenta para maiores profundidades, para camadas mais úmidas. No entanto, uma vez que a maior parte de fósforo e potássio disponíveis estão frequentemente na camada de 0 a 20 cm, o crescimento radicular para camadas abaixo de 20 cm pode não contribuir para o suprimento destes nutrientes para as plantas.

TAYLOR et. al.(1964) estudaram a penetração de raízes de algodão através de camadas de um solo areno-argiloso. As raízes penetraram através de camadas do solo com $1,70$ à $1,76\text{ g/cm}^3$ de densidade, quando o potencial de água no solo foi -100 KPa , mas não penetraram quando o potencial foi menor que -300 ou -400 KPa . Quando o potencial foi -500 KPa ou menor, a expansão radial das raízes cessou e houve um estrangulamento das raízes, fazendo com que crescessem em diâmetro logo acima da constrição. As plantas subitamente murchavam e morriam em dias secos e quentes.

A taxa específica de crescimento radicular foi afetada pela impedância do solo e o potencial da água no solo, e variou entre 0,02 e 0,15 por dia, para algodão, e entre 0,03 e 0,28 por dia, para milho (BAR-YOSEF e LAMBERT, 1981). Quando o sistema radicular estava sob a mesma densidade e diferentes potenciais de água, o crescimento radicular variou de acordo com o potencial. Quando a densidade foi diferente, a taxa de crescimento diminuiu monotonicamente com o aumento dos valores de densidade. Os fluxos de retirada da água pelo algodão e pelo milho tiveram um pico entre -13 e -20 KPa e foram cerca de 0,02 e 0,03 ml/cm de raiz/dia, respectivamente. O efeito da densidade do solo sobre a taxa de retirada de água pode ser atribuído a sua influência sobre a condutividade hidráulica. Quando a densidade do solo é aumentada, o fluxo de retirada de água parece variar com a idade da raiz. Raízes mais novas mostram uma mais forte dependência da densidade do solo que raízes mais velhas (300 cm de comprimento).

SANGOI e SILVA (1985) estudaram a eficiência do uso da água e outras características morfológicas do milho sob três regimes hídricos. A matéria seca da parte aérea e área foliar do milho decresceram à medida que aumentou a força de retenção da água no solo. Houve decréscimos na produção de matéria seca da parte aérea quando o potencial da água do solo não foi mantido a -10 KPa. Tal fato parece indicar que a utilização de -33 KPa, como indicativo do ponto de disponibilidade ótima de água no solo para as plantas, pode subestimar as necessidades hídricas das mesmas, principalmente em solos arenosos ou francos.

COX e JOLLIF (1986) avaliaram o crescimento e rendimento da soja sob diferentes deficits de água no solo. A soja no tratamento sem irrigação extraiu pouca água do solo na profundidade de 0,90 e 1,80 m. Como resultado, o stress hídrico provocou uma redução drástica na massa seca e produção de grãos na cultura da soja. Este estudo indica que a soja é relativamente suscetível à stress hídrico, por extrair água em menores profundidades no perfil

do solo.

As condições físicas do solo, expressas pela porosidade, densidade e resistência à penetração, regulam o armazenamento e disponibilidade de água e ar para as plantas, facilitando ou dificultando seu desenvolvimento radicular. Sendo assim, o solo que apresenta uma proporção adequada de micro e macroporos, contínuos em profundidade, permite um desenvolvimento radicular satisfatório. Associado às condições físicas, também deve ser considerado o suprimento adequado de nutrientes para as plantas.

3.5. A INFLUÊNCIA DO PH DO SOLO NO USO DA ÁGUA PELAS PLANTAS

A despeito da condição física do solo ser favorável, a condição química, principalmente o pH do solo, interfere no desenvolvimento radicular, restringindo-o ou estimulando-o dependendo da disponibilidade de nutrientes no solo.

CASSEL (1980), estudando os efeitos da profundidade de preparo e profundidade de incorporação de calcário e fósforo sobre algumas propriedades físicas e químicas de dois solos franco-argilosos depois de 15 anos, observou que a resistência do solo aumentou e a taxa de infiltração diminuiu quando a profundidade de preparo aumentou, indicando condições físicas mais desfavoráveis para o desenvolvimento radicular. Entretanto, a incorporação de fósforo (P) e calcário em maiores profundidades aumentou os níveis de P, Mg e Ca nas profundidades de 18 a 38 e 38 a 51 cm, fazendo com que as condições químicas fossem mais favoráveis para o enraizamento. O que faz pensar que qualquer benefício residual do preparo em profundidade poderia ser provavelmente devido ao aumento na fertilidade do solo nestas camadas.

A falta de preparo no plantio direto permite o acúmulo de resíduos na superfície do solo, o que favorece o desenvolvimento de minhocas (*Lumbricus terrestris*). Através de seus

canais verticalmente orientados, água e ar podem mover-se rapidamente. Assim, calcário aplicado sobre um campo com milho em plantio direto por 20 anos elevou o pH até 65 cm de profundidade. Sobre um campo preparado convencionalmente, o efeito observado foi restrito a profundidade de preparo, ou seja, 25 cm (EDWARDS et. al., 1990).

A restrição do crescimento radicular das culturas em Latossolos do Cerrado frequentemente reduz seus rendimentos porque o volume de solo explorado pelas raízes é insuficiente para o suprimento de água em períodos secos (RITCHEY et. al., 1982). A hipótese de que a penetração de raízes em tais subsolos é limitada pela falta de cálcio (Ca) mais que pela toxicidade do alumínio (Al) é sustentada pelos resultados da adição de 0,10 e 0,15 meq/100g de cálcio na forma de cloreto, fosfato ou carbonato, que normalizaram eficientemente o crescimento radicular das plântulas.

GONZALEZ-ERICO et. al. (1979) mostraram que a incorporação de calcário em maior profundidade, à 30cm ao invés de 15cm, aumentou a média de rendimento anual de milho em 1300 Kg/ha em um Latossolo. As raízes de milho penetraram e utilizaram a água armazenada em toda a camada corrigida, e foram capazes de resistir ao stress hídrico por um longo período. RITCHEY et. al. (1981) estudaram o comportamento de duas culturas de milho em um Latossolo durante um severo período de seca. A cultura que não apresentou sinais visíveis de stress hídrico, recebeu 559 Kg/ha de fósforo na forma de superfosfato simples muitos anos antes, e apresentava raízes até a profundidade de 120 cm. A cultura que murchou, foi adubada mais recentemente com 148 Kg/ha de fósforo na forma de superfosfato triplo e as raízes atingiram somente a profundidade de 45 cm. Análises químicas do solo mostraram que as raízes não cresceram onde a saturação com alumínio foi 60% ou mais. As diferenças na saturação com alumínio foram atribuídas a grande quantidade de cálcio adicionado no superfosfato simples, e o movimento descendente do sulfato de cálcio aumentou grandemente a quantidade de cálcio no subsolo, diminuindo a saturação com alumínio e proporcionando

melhor enraizamento.

MCCRAY et. al.(1991) estudaram a influência de cálcio em solução sobre a retenção de água no solo e resistência à penetração de um Podzólico caulinitico e encontraram mudanças na retenção de água (entre -33 e -100 KPa de potencial matricial) e índice de cone com diferentes concentrações de cálcio em solução e resistência iônica. Diferenças em retenção de água e índice de cone parecem ser devido à um aumento na dispersão e colapso estrutural com o aumento de cálcio em solução.

A condição química do solo, associada à condição física, é importante para um adequado desenvolvimento radicular. Em solos ácidos, além da toxidez pelo alumínio, o suprimento de nutrientes para as plantas fica prejudicado pela baixa saturação de bases e, neste caso, de nada adiantaria o solo apresentar uma razoável condição física, pois a planta não teria como desenvolver seu sistema radicular, explorando maior volume de solo.

Conforme verificado por muitos pesquisadores, as condições físicas e químicas do solo tem papel fundamental no desenvolvimento radicular das plantas. Um adequado manejo do solo propicia condições físicas adequadas e um suficiente suprimento químico, possibilitando à planta melhores condições para o seu desenvolvimento. Condições físico-químicas adequadas permitem um melhor enraizamento das plantas em profundidade, com maior volume de solo explorado pelas raízes, e portanto maior eficiência na utilização de água e nutrientes armazenados no solo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Cooperativa Batavo, localizada no município de Ponta Grossa - PR, à 25°20' de latitude sul e à 50°20' de longitude, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico, derivado de resíduos intemperizados de rochas sedimentares de natureza argilosa, situado no terço superior da rampa com 6% de declividade. O clima da região é do tipo Cfb, conforme a classificação de Koepen (GODOY et. al., 1976).

As análises granulométricas e de densidade das partículas foram determinadas através da coleta de amostras após a instalação do experimento, nos diferentes métodos de preparo do solo. Os resultados estão no anexo (Quadros A1 e A2, respectivamente). As análises químicas do solo foram realizadas à partir de amostras coletadas previamente (Quadro A3), e posteriormente à implantação do experimento. Tanto as análises físicas como as químicas do solo foram feitas de acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (1979).

4.2. TRATAMENTOS

Os tratamentos consistiram de três métodos de preparo (arado de discos, arado de aivecas e arado rotativo), dois níveis de calcário (com e sem calcário) e diferentes profundidades conforme descrito no quadro 1. Os métodos de preparo ficaram dispostos nas parcelas e os níveis de calcário e profundidades nas subparcelas conforme croqui da área experimental (Figura 1). Em todas as parcelas foi adicionado fosfato yoorin para atingir 15

ppm de fósforo no solo.

4.3. SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO

Após a incorporação dos corretivos, foi realizada uma gradagem leve em todos os tratamentos e realizado o primeiro plantio da rotação trienal apresentada no quadro 2. Todos os plantios e práticas subsequentes foram as do sistema plantio direto, com uma plantadeira SEMEATO PAR-2800 (milho e soja), semeadeira MENEGAZ (ervilhaca, aveia preta e trigo), com controle químico de invasoras, pragas e doenças. Na colheita foi utilizado uma colheitadeira SLC 3200 com 3/4 de carga total, equipada com picador e distribuidor de palha. O tráfego foi controlado por marcos permanentes indicando o centro das parcelas, para sempre ocorrer nas mesmas faixas, possibilitando existência de faixas com e sem tráfego.

O presente estudo se restringiu as culturas de verão do primeiro e segundo ano, ou seja, milho e soja. Os tensiômetros foram instalados nas entre-linhas com tráfego, a fim de melhor reproduzir as condições comumente encontradas nas lavouras da região (Figura 2).

QUADRO 1 - Tratamentos de preparo do solo, calagem e profundidades

Métodos de preparo	(A) arado de discos à 20 cm de profundidade (B) arado de aivecas à 35 cm de profundidade (C) arado rotativo à 60 cm de profundidade
Níveis de calcário	(c) com calcário para 70 % de saturação de bases (sc) sem calcário
Camadas amostradas	0-20 cm de profundidade 20-40 cm de profundidade 40-60 cm de profundidade 60-80 cm de profundidade

QUADRO 2 - Rotação de culturas utilizadas durante o período de duração do experimento

Safras	Culturas	
	Inverno	verão
89/90	ervilhaca	milho
90/91	aveia preta	soja
91/92	trigo	soja

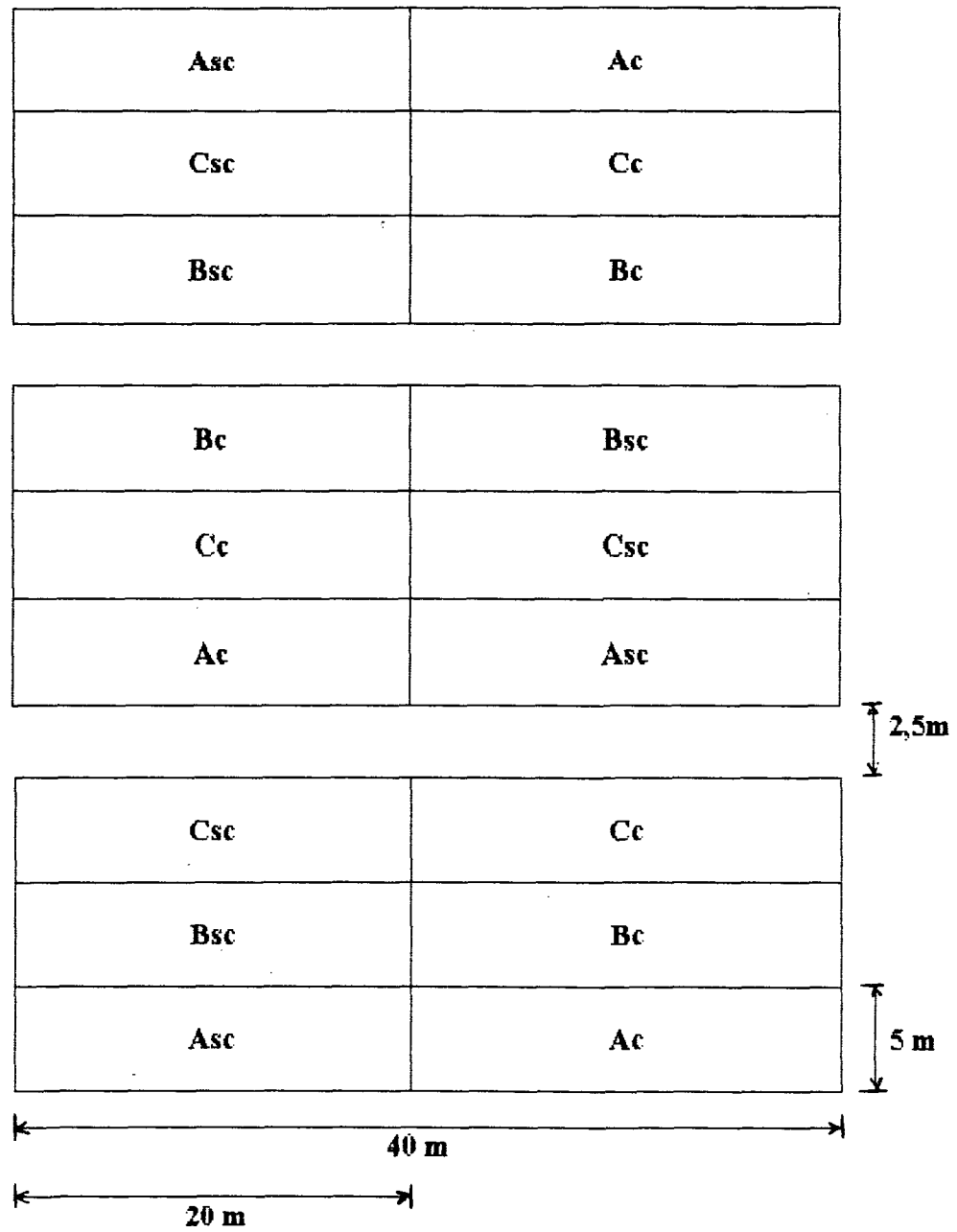


FIGURA 1 - Croquis da área experimental com a disposição dos tratamentos

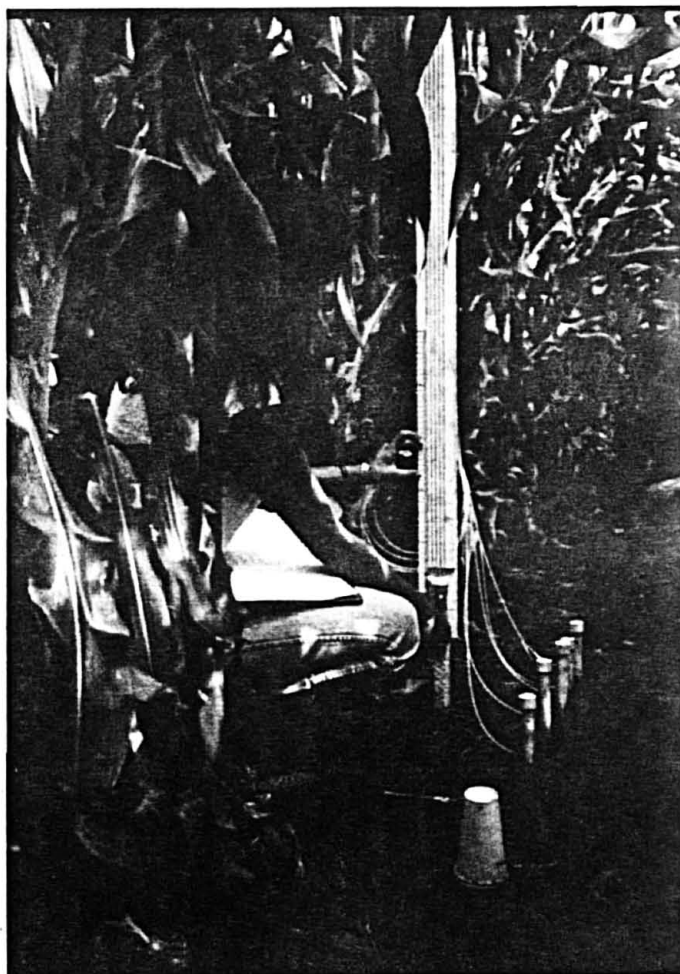


FIGURA 2 - Disposição dos tensiômetros à campo

4.4. INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS

Foram instalados a campo 18 baterias de 5 tensiômetros cada uma. Cada conjunto de 5 tensiômetros foi instalado em uma sub-parcela nas profundidades: 10cm, 30cm, 50cm, 70cm e 90cm. Os tensiômetros foram instalados a campo cerca de 15 dias antes do início das leituras para que houvesse tempo de estabilizarem junto ao solo.

Próximo ao experimento (50 m) havia um pluviômetro para medição da precipitação, um termômetro para a medição da temperatura e um higrômetro para medição da umidade ocorridas durante o período.

As leituras de tensão da água no solo foram realizadas entre 12/12 e 26/12/89 para a cultura do milho e entre 16/01 e 30/01/91 para a cultura do soja, durante o florescimento, coincidindo com o período de maior demanda hídrica das culturas, sendo uma leitura por dia, no período da manhã.

Foram também retiradas amostras indeformadas, em aneis volumétricos, em um ponto por sub-parcela, nas profundidades: 20cm, 40cm, 60cm e 80 cm com o propósito de determinar em laboratório a curva de retenção da água no solo (figuras A1 à A10). Estas amostras foram retiradas após a colheita das culturas, nas entre-linhas onde não houve tráfego de colheitadeira, por introdução lenta de um anel volumétrico, com macaco hidráulico, utilizando um veículo leve como contra-peso. Para facilitar a retirada das amostras e perturbar o mínimo possível a parcela experimental, uma pequena trincheira (30x30cm) foi sendo gradativamente aberta, de acordo com a profundidade amostrada. Para a cultura da soja somente no tratamento A (arado de discos a 20cm) é que foram tiradas amostras nas sub-parcelas com e sem calcário. Nos tratamentos B (arado de aivecas a 35cm) e C (arado rotativo a 60cm) foram tiradas amostras somente nas sub-parcelas com calcário. Estas alterações foram

efetuadas levando-se em consideração que não foi verificado efeito da calagem sobre os parâmetros determinados quando da análise preliminar para a cultura do milho e também, por impossibilidade de processamento de um grande número de amostras no laboratório nesta ocasião. Foi escolhido o preparo com arado de discos para permanecer com amostragens nas sub-parcelas com e sem calcário por ser este o mais utilizado na região.

4.5. PARÂMETROS DETERMINADOS

4.5.1. Curva de retenção da água no solo

Com as amostras indeformadas foi feita a determinação da curva de retenção da água no solo através de mesas de tensão com placas porosas adaptadas de KIEHL (1979) nas tensões 1, 2, 4, 6 e 10 KPa, e em câmara de pressão de Richards (Klute, 1986), nas tensões 33, 60, 100, 300 e 500 KPa.

4.5.2. Densidade das partículas e densidade do solo

A densidade das partículas foi determinada através do uso de balão volumétrico e álcool etílico (EMBRAPA, 1979). A densidade do solo foi determinada pela relação entre massa de solo seco à 105-110°C e o volume da amostra (BLAKE e HARTGE, 1986).

4.5.3. Porosidade total, microporosidade e porosidade de aeração

A porosidade total foi obtida à partir da relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas (DANIELSON e SUTHERLAND, 1986), de acordo com a equação:

$$P_t = 1 - d_s/d_p \quad (1)$$

onde P_t é a porosidade total, d_s é a densidade do solo e d_p é a densidade das partículas.

A microporosidade foi obtida através da umidade retida na tensão de 6 KPa, conforme a equação:

$$Mic = \theta_6 \quad (2)$$

onde Mic é a microporosidade e θ_6 é a umidade volumétrica retida na tensão de 6 KPa.

A macroporosidade ou porosidade de aeração, a rigor considerada como o volume de poros com ar na capacidade de campo, foi obtida pela diferença entre porosidade total e a quantidade de água por unidade de volume de solo retida na tensão de 6 KPa, de acordo com a equação:

$$Par = P_t - Mic \quad (3)$$

onde Par é a porosidade de aeração.

4.5.4. Capacidade de água prontamente disponível

A capacidade de água prontamente disponível (CAPD) foi determinada pela diferença do conteúdo de água entre as tensões 6 e 100 KPa:

$$CAPD = \theta_6 - \theta_{100} \quad (4)$$

4.5.5. Potencial da água no solo

Foi obtido através de leitura direta da coluna de mercúrio no painel de leitura dos tensiômetros e transformada em potencial matricial da água no solo de acordo com a seguinte equação:

$$P = (-12,6 h_t + Z_1 + Z_2)/10 \quad (5)$$

onde P é o potencial matricial da água no solo (KPa); h_t é a altura da coluna de mercúrio (cm); Z_1 é a altura da cuba de mercúrio em relação ao solo (cm) e, Z_2 é a profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

4.5.6. Armazenamento de água no solo

A umidade do solo foi determinada a partir das equações de regressão das curvas de retenção de água no solo e das tensões obtidas através da leitura dos tensiômetros. Sendo então transformada em armazenamento da água no solo por multiplicação destes valores pela espessura das camadas amostradas (20 cm).

4.5.7. Perda e recarga de água no solo

Os valores de armazenamento de água no solo foram subtraídos do dia anterior para o período de quinze dias de leitura, obtendo-se valores negativos e positivos. A soma dos valores negativos foi considerada perda de água no solo no período e a soma dos valores positivos a recarga de água no solo.

4.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

4.6.1. Delineamento experimental para a cultura do milho

O experimento foi composto por 24 tratamentos com 3 repetições, que foram dispostos em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, compondo um SPLIT-SPLIT-PLOT, onde os métodos de preparo ficaram dispostos nas parcelas que apresentam dimensões de 40x5m e os

níveis de calcário e diferentes profundidades nas sub-parcelas, com dimensões de 20x5m.

4.6.2. Delineamento experimental para a cultura da soja

Quando considerados os três métodos de preparo e um único nível de calcário (70% de saturação de bases), o experimento foi composto por 12 tratamentos com 3 repetições, que foram dispostos em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, compondo um SPLIT-PLOT, onde os métodos de preparo ficaram dispostos nas parcelas que apresentam dimensões de 40x5 m e as profundidades de amostragem nas sub-parcelas, com dimensões de 20x5 m.

Quando somente o preparo com arado de discos foi considerado, o experimento foi composto por 8 tratamentos com 3 repetições, que foram dispostos em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, compondo um SPLIT-PLOT, onde o método de preparo ficou disposto nas parcelas que apresentam dimensões de 40x5 m e os níveis de calcário e profundidades de amostragem nas sub-parcelas, com dimensões de 20x5 m.

A análise estatística dos dados foi feita utilizando o programa estatístico SANEST (ZONTA et. al.,1984). Os dados foram submetidos a análise de variância e após a análise foi feita a comparação de médias através do teste de TUKEY, para $p=0,05$.

5. RESULTADOS

5.1. CULTURA DO MILHO

5.1.1. Perda e recarga de água no solo

A análise de variância da perda de água no solo, no período de maior demanda hídrica da cultura (florescimento), seja por extração ou por drenagem, apresentou diferenças estatísticas significativas relativas ao preparo (Quadro 3). Os níveis de calcário e diferentes profundidades não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Ao nível de 5% de significância o preparo com arado de discos diferiu dos preparos com arado de aivecas e arado rotativo, apresentando menor perda de água (Figura 3). A perda de água no solo foi maior no preparo com arado de aivecas, seguido pelo preparo com arado rotativo e preparo com arado de discos. Sendo os dois primeiros iguais estatisticamente.

A recarga de água no solo também apresentou diferenças estatísticas somente com relação ao preparo (Quadro 3). Ao nível de 5% de significância o preparo com arado de discos difere do preparo com arado de aivecas, sendo que este último apresenta maior recarga de água (Figura 4). O preparo com arado rotativo não apresenta diferenças estatísticas com relação aos outros dois preparos.

QUADRO 3 - Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura do milho

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F	
		Perda	Recarga
Bloco	2		
Preparo	2	0,0026	0,0422
Resíduo (A)	4		
Parcelas	8		
Calcário	1	0,1765	0,1679
Prep*Calc	2	0,5026	0,3066
Resíduo (B)	6		
Subparcelas	17		
Profundidade	3	0,7376	0,6754
Prep*Prof	6	0,6046	0,6282
Calc*Prof	3	0,2479	0,3260
Prep*Calc*prof	6	0,5096	0,5487
Resíduo (C)	36		
Total	71		

Média geral =	0,737361	0,740556
Coefficiente de variação (A) =	5,955 %	17,485 %
Coefficiente de variação (B) =	5,239 %	50,165 %
Coefficiente de variação (C) =	84,208 %	81,054 %

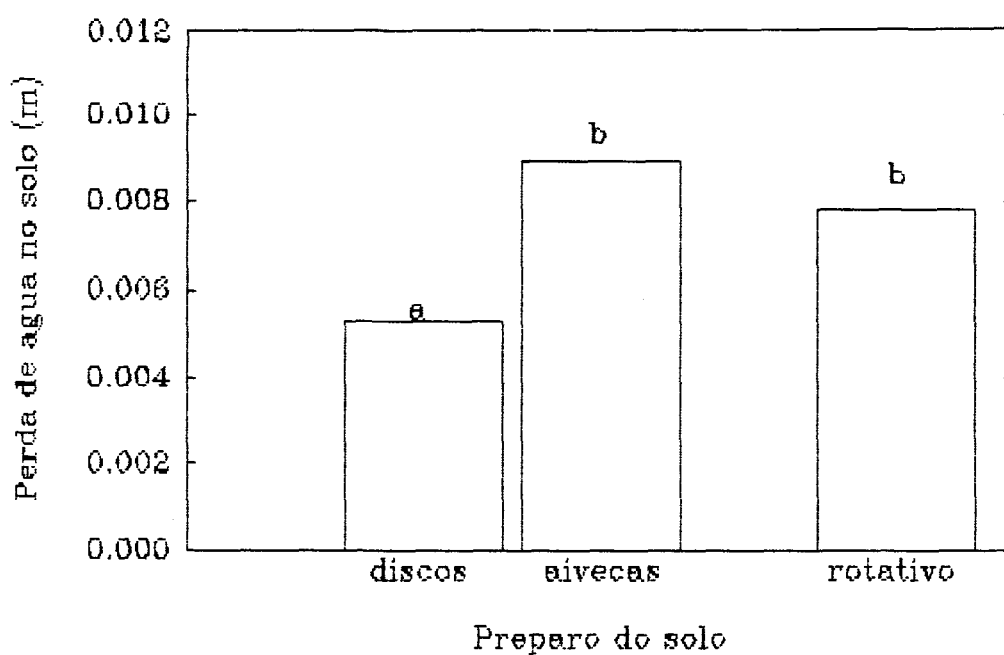


FIGURA 3 - Perda de água no solo (m) em função do preparo do solo para a cultura do milho

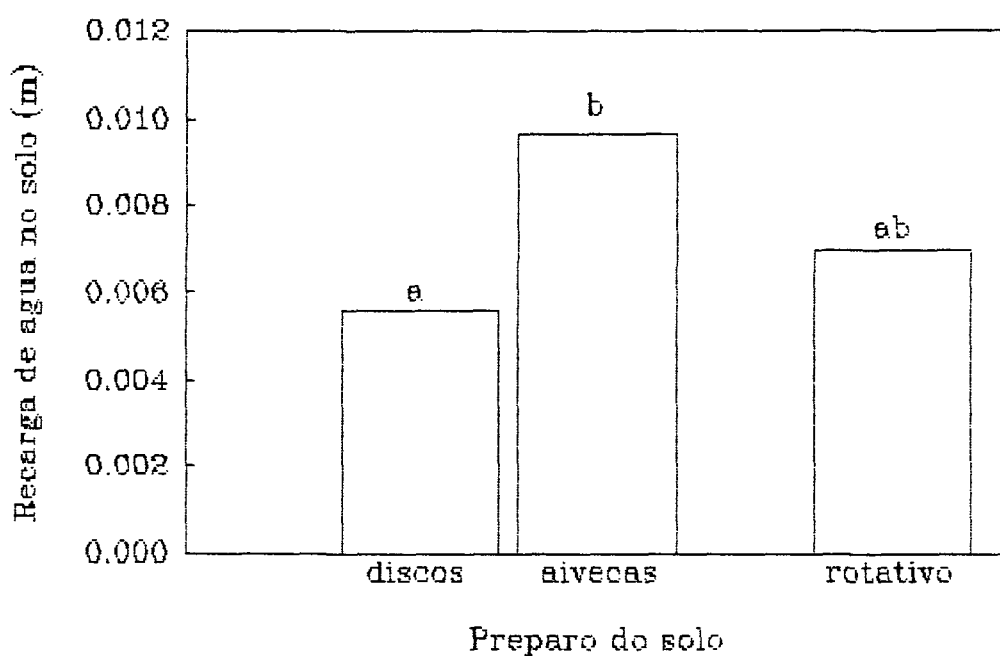


FIGURA 4 - Recarga de água no solo (m) em função do preparo do solo para a cultura do milho

5.1.2. Potencial da água no solo

Na análise dos gráficos de potencial (Figuras 5 à 10) pode-se evidenciar que os tensiômetros instalados à 10 e 30 cm de profundidade reagiram mais pronunciadamente à períodos de estiagem e as precipitações. Manteve-se relativamente constante o tensiômetro instalado à 90 cm. A análise das figuras permite observar ainda que quanto mais profundo o revolvimento do solo, maiores as diferenças entre as duas camadas mais superficiais. O preparo com arado de discos apresenta valores de tensão da água no solo um pouco mais elevados que os preparos com arado de aivecas e arado rotativo.

5.1.3. Armazenamento da água no solo

Analisando os gráficos de armazenamento da água no solo no período de maior demanda hídrica da cultura (Figuras 5 à 10), verifica-se que houve maior armazenamento de água na camada de 0 à 20 cm. Todas as camadas reagiram as precipitações e períodos de estiagem. No tratamento com arado de discos com calcário e arado rotativo sem calcário também a camada de 20 à 40 cm apresentou maior armazenamento de água relativamente as camadas inferiores. Em relação aos outros tratamentos, o arado rotativo apresentou maior armazenamento de água em todas as camadas.

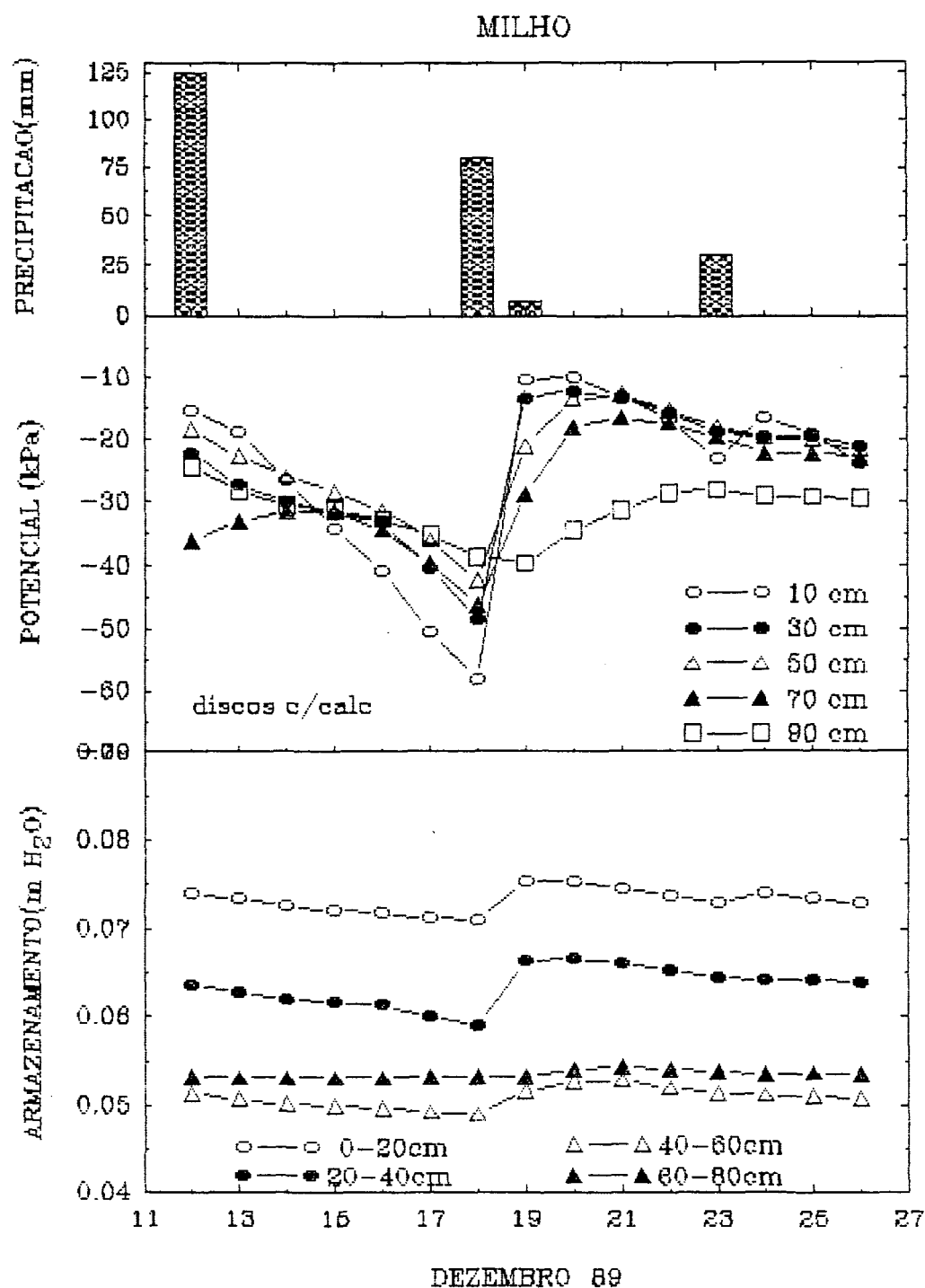


FIGURA 5 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento A, com calcário)

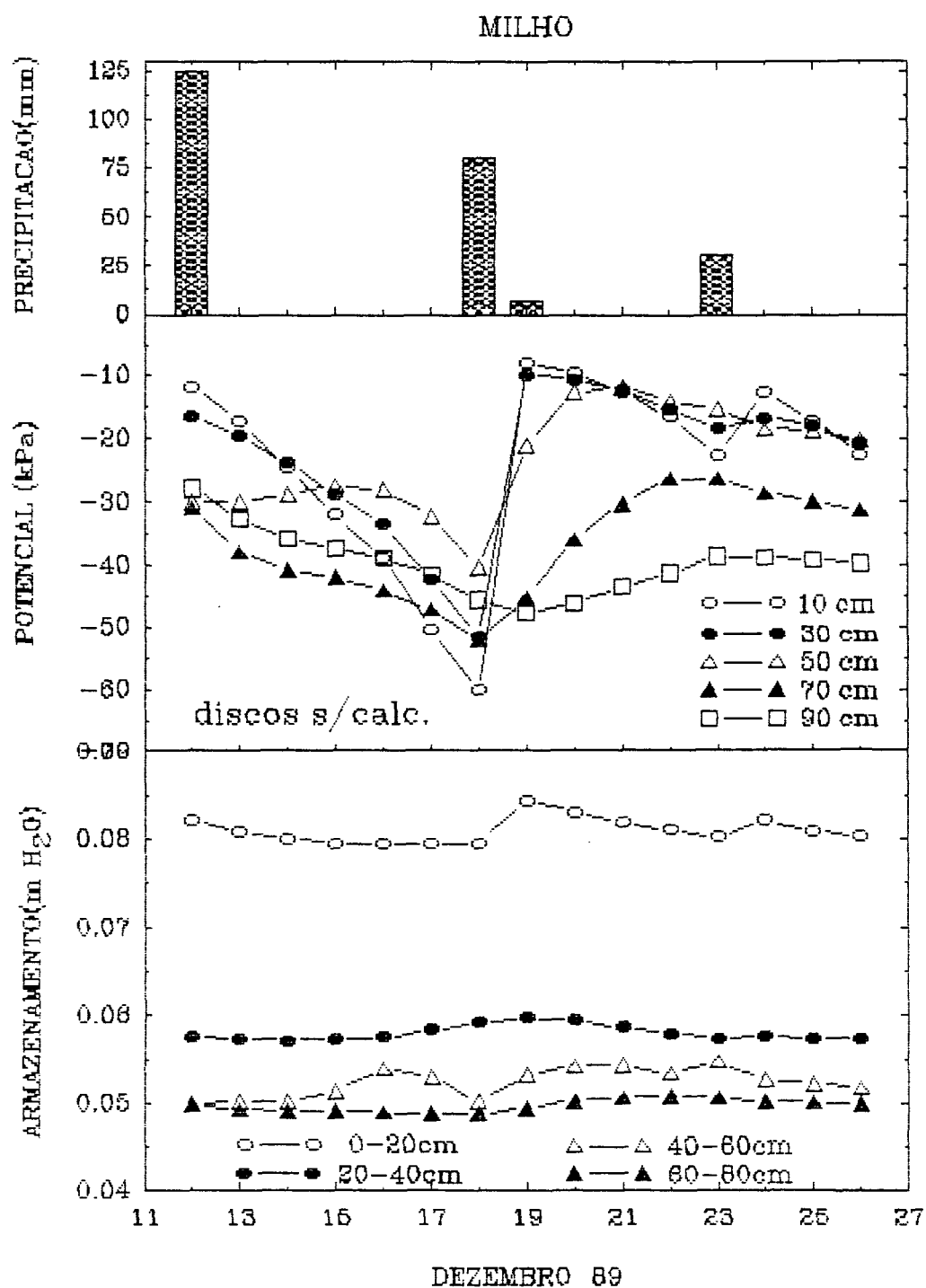


FIGURA 6 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento A, sem calcário)

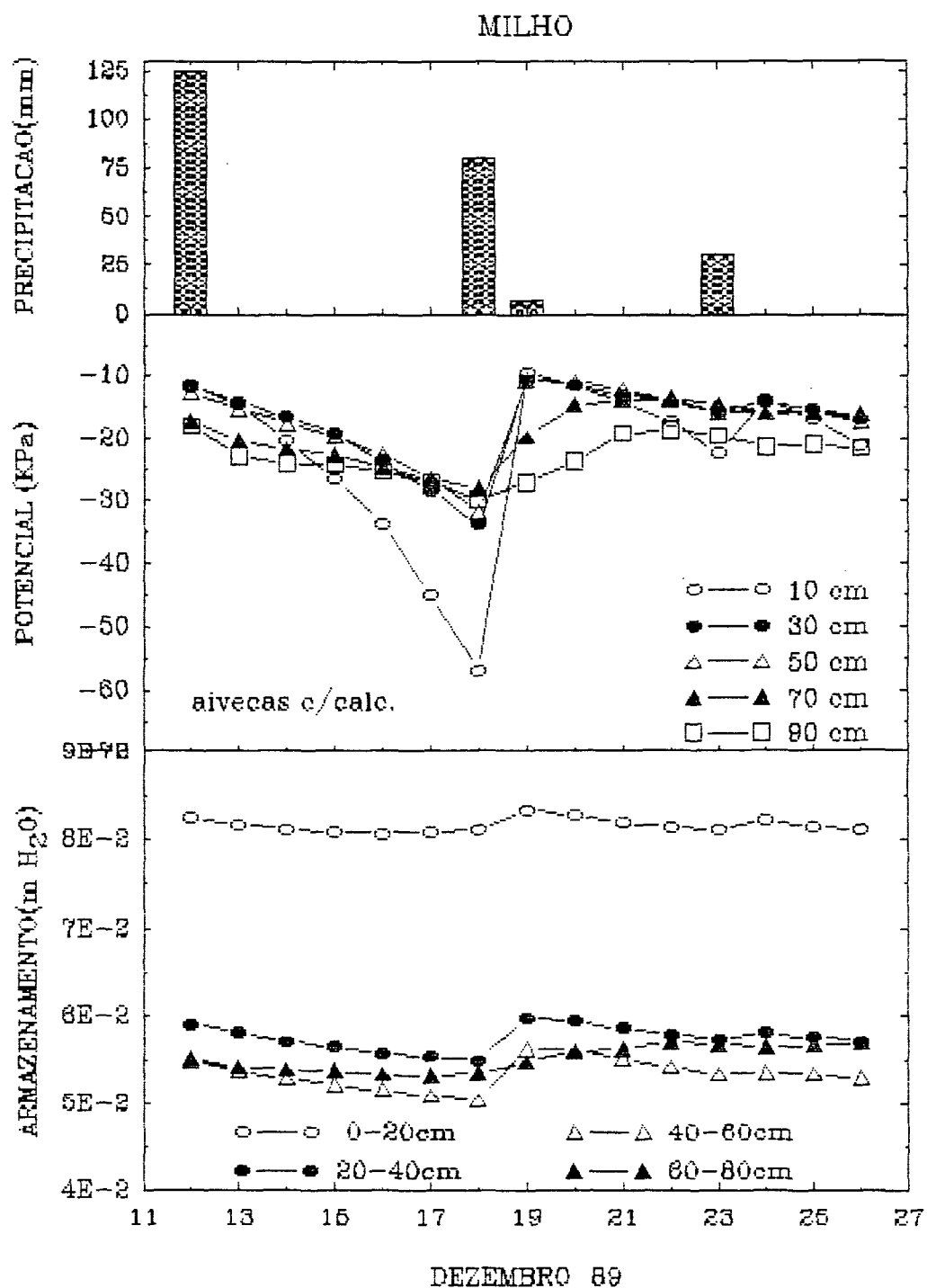


FIGURA 7 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento B, com calcário)

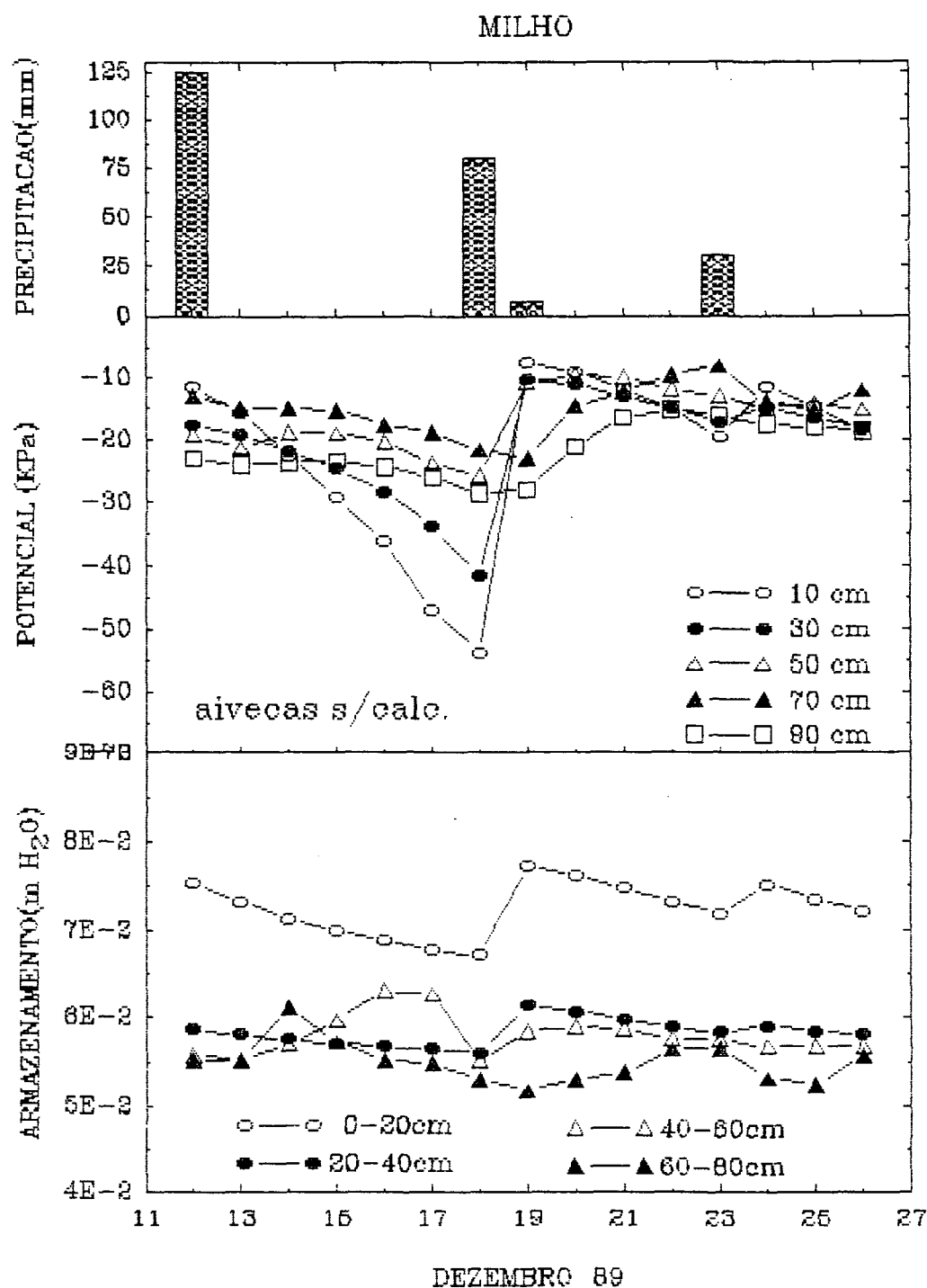


FIGURA 8 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento B, sem calcário)

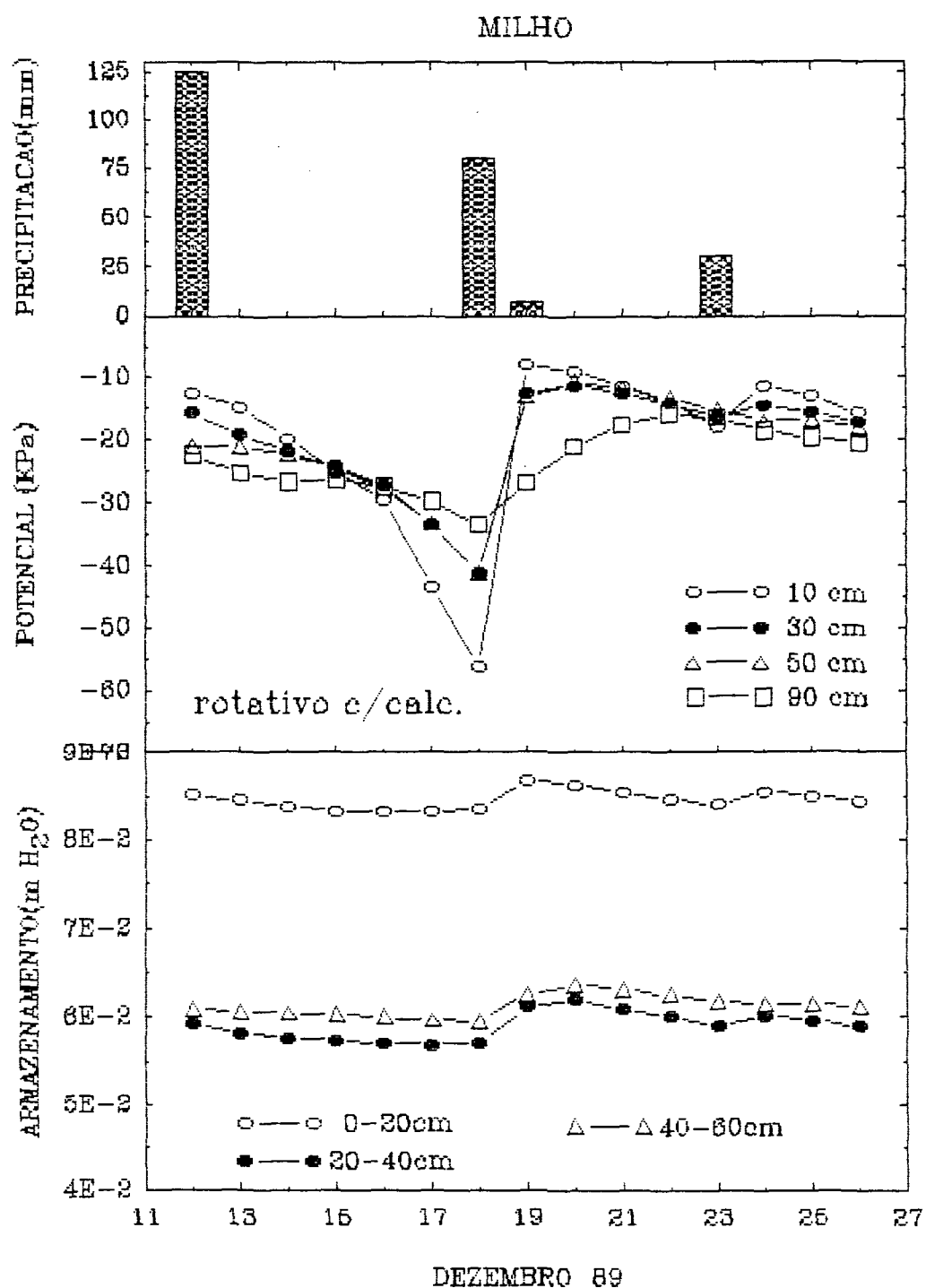


FIGURA 9 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento C, com calcário)

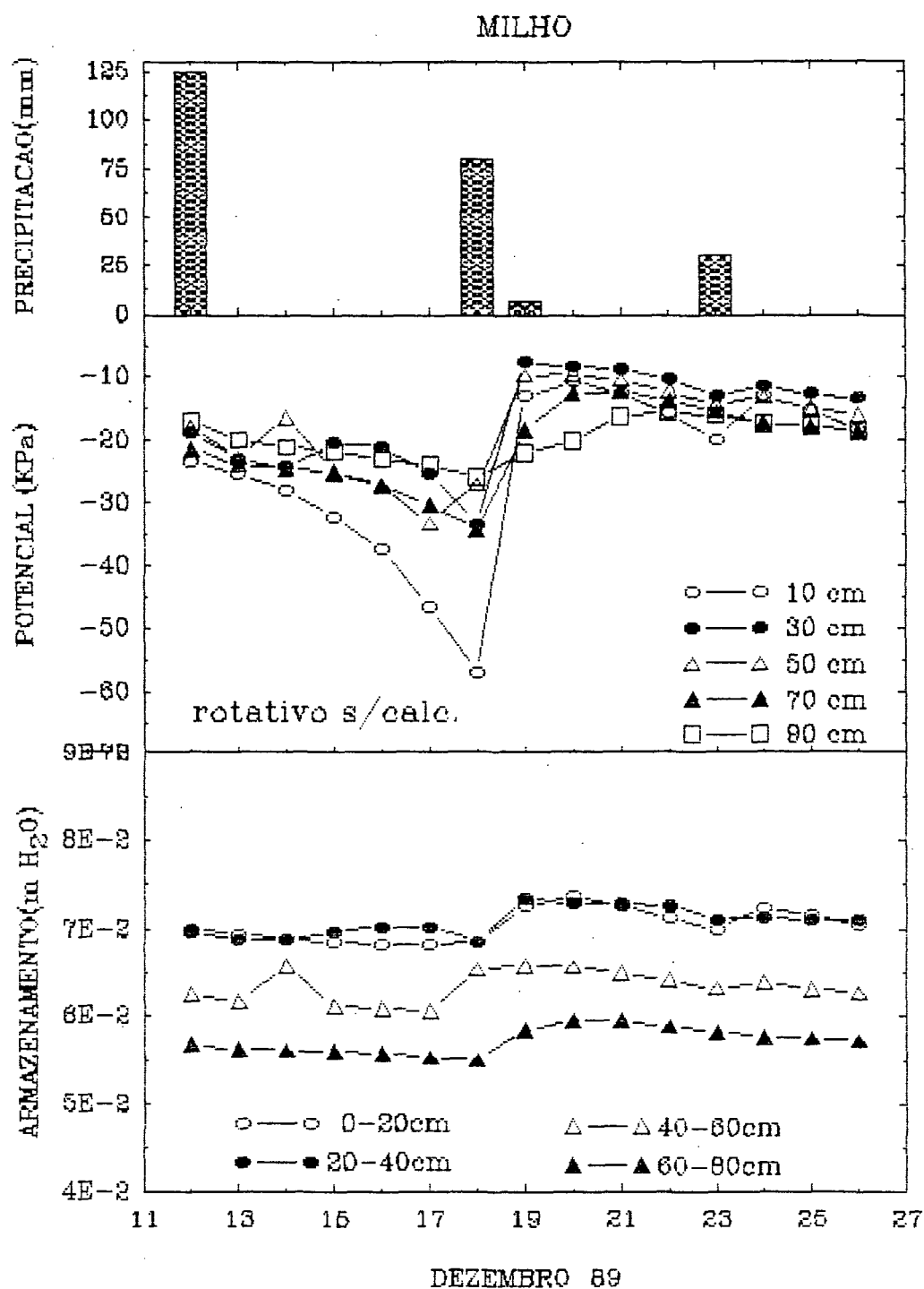


FIGURA 10 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura do milho (tratamento C, sem calcário)

5.1.4. Capacidade de água prontamente disponível

A análise de variância da capacidade de água prontamente disponível mostra que somente a profundidade apresentou diferença estatística significativa (Quadro 4).

Ao nível de significância de 5% a camada de 0 à 20 cm difere das demais, apresentando esta menor capacidade de água prontamente disponível (Figura 11). A figura mostra que a capacidade de água prontamente disponível é menor na camada de 0 à 20 cm e aumenta com a profundidade.

5.1.5. Porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo

A porosidade total apresentou diferenças estatísticas relativas à profundidade (Quadro 5). Os métodos de preparo e os níveis de calcário não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Ao nível de 5% de significância, a camada superficial difere das demais, sendo que as camadas de 20 à 40 e 40 à 60 cm não apresentam diferenças estatísticas e as duas camadas inferiores também são iguais estatisticamente (Figura 12). A figura mostra que a porosidade total é menor na camada superficial e aumenta com a profundidade.

A análise de variância da microporosidade mostra que profundidade e preparo apresentaram diferenças estatísticas significativas (Quadro 5).

QUADRO 4 - Análise de variância do conteúdo de água prontamente disponível para a cultura do milho

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F
Bloco	2	0,8503
Preparo	2	
Resíduo (A)	4	
Parcelas	8	0,4747
Calcário	1	
Bloc*Calc	2	
Prep*Calc	2	0,1724
Resíduo (B)	4	
Subparcelas	17	0,0022
Profundidade	3	
Bloc*Prof	6	
Prep*Prof	6	0,0863
Bloc*Prep*Prof	12	
Calc*Prof	3	
Bloc*Calc*prof	6	0,2810
Prep*Calc*prof	6	
Resíduo (C)	11	
Total	70	

Média geral = 0,1102

Coeficiente de variação (A) = 25,71%

Coeficiente de variação (B) = 15,75%

Coeficiente de variação (C) = 20,33%

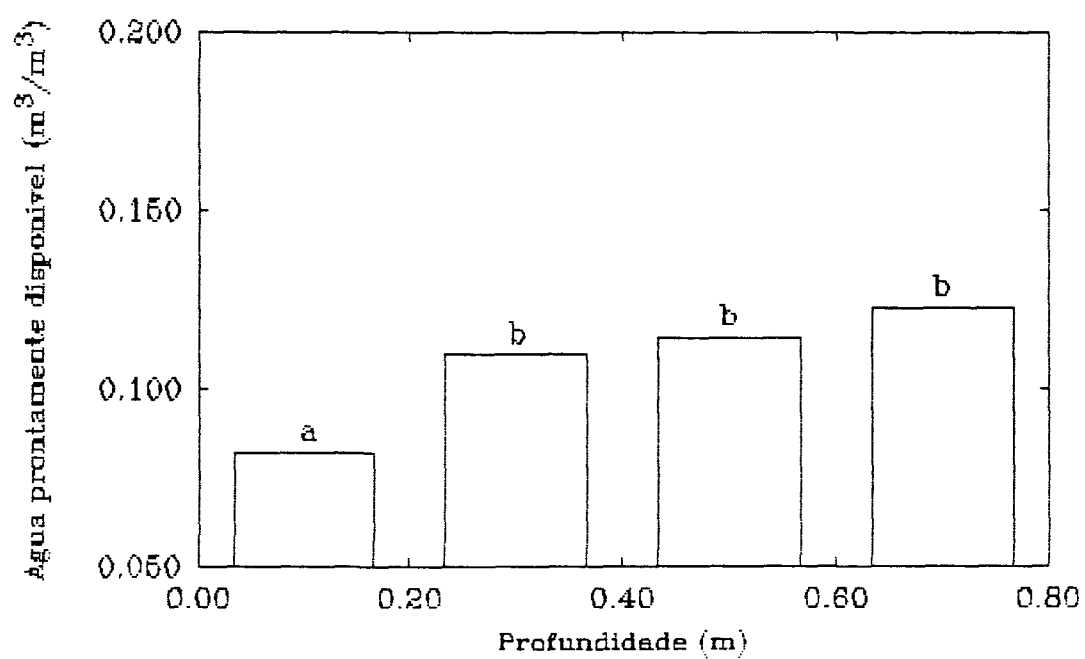


FIGURA 11 - Capacidade de água prontamente disponível(m³/m³) em função da profundidade de amostragem para a cultura do milho

QUADRO 5 - Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e da densidade do solo para a cultura do milho

causas da variação	grau de liberdade	Probabilidade > F			
		Porosidade total	Microporosidade	Porosidade de aeração	Densidade do solo
3120					
Bloco	2				
Preparo	2	0,7939	0,0055	0,2196	0,7671
Resíduo (A)	4				
Parcelas	8				
Calcário	1	0,3134	0,0442	0,0770	0,3216
Prep*Calc	2	0,6921	0,1715	0,9513	0,6926
Resíduo (B)	6				
Subparcelas	17				
Profundidade	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Prep*Prof	6	0,8230	0,5405	0,8613	0,8163
Calc*Prof	3	0,2089	0,3527	0,2944	0,3437
Prep*Calc*prof	6	0,9327	0,1076	0,5936	0,9771
Resíduo (C)	36				
Total	71				

Média geral =	0,605139	0,424444	0,180694	1,050972
Coefficiente de variação (A) =	3,207 %	1,004 %	12,143 %	4,740 %
Coefficiente de variação (B) =	1,855 %	1,102 %	6,315 %	2,745 %
Coefficiente de variação (C) =	3,077 %	4,627 %	19,300 %	4,826 %

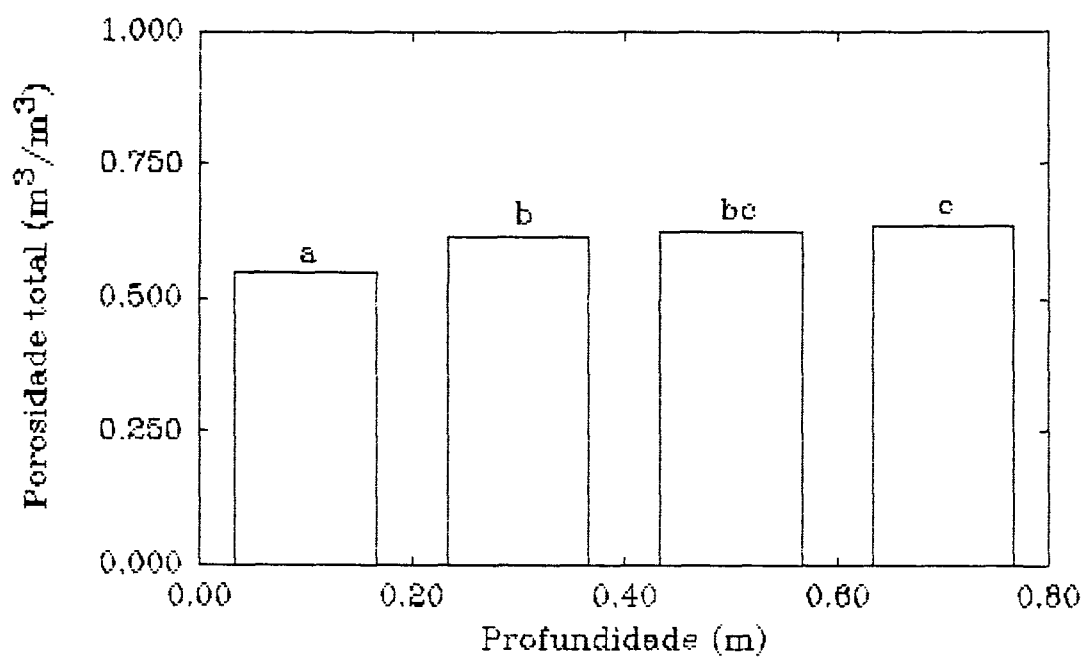


FIGURA 12 - Porosidade total do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura do milho

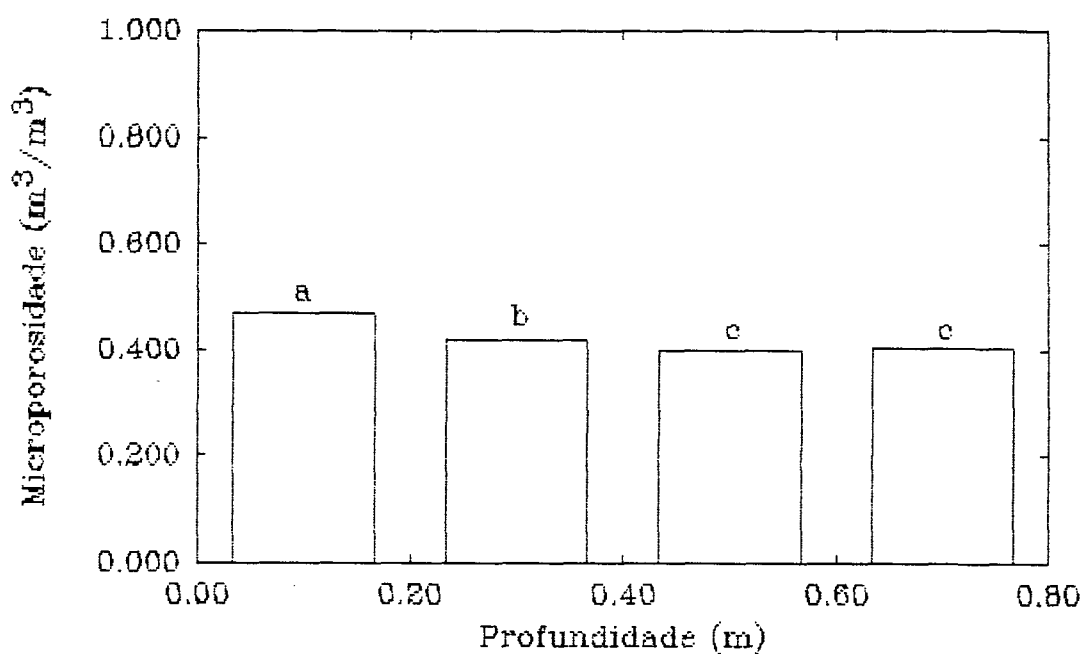


FIGURA 13 - Microporosidade do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura do milho

Considerando a profundidade, ao nível de significância de 5%, a camada de 0 à 20 cm difere da camada de 20 à 40 cm, que por sua vez, difere das duas camadas inferiores (Figura 13). A figura mostra que a microporosidade é maior na camada superficial e diminui em profundidade.

Considerando os métodos de preparo, o teste de Tukey mostra que o preparo à 60 cm de profundidade (arado rotativo) é igual ao preparo à 20 cm (arado de discos), mas difere do preparo à 35 cm (arado de aivecas). Por sua vez, o preparo com arado de discos não difere estatisticamente do preparo com arado de aivecas (Figura 14). A figura mostra que a microporosidade é maior no preparo com arado rotativo seguido por preparo com arado de discos e preparo com arado de aivecas.

A porosidade de aeração apresentou diferença estatística significativa somente relativa à profundidade (Quadro 5). Ao nível de 5% de significância, a camada de 0 à 20 cm difere da camada de 20 à 40 cm, que por sua vez, difere das duas últimas camadas (Figura 15). A figura mostra que a porosidade de aeração é menor na camada superficial e aumenta com a profundidade.

A densidade do solo também foi estatisticamente diferente somente com relação à profundidade (Quadro 5). Ao nível de 5% de significância, a camada de 0 à 20 cm difere das demais camadas, sendo que a densidade do solo é maior nesta camada e diminui com a profundidade (Figura 16).

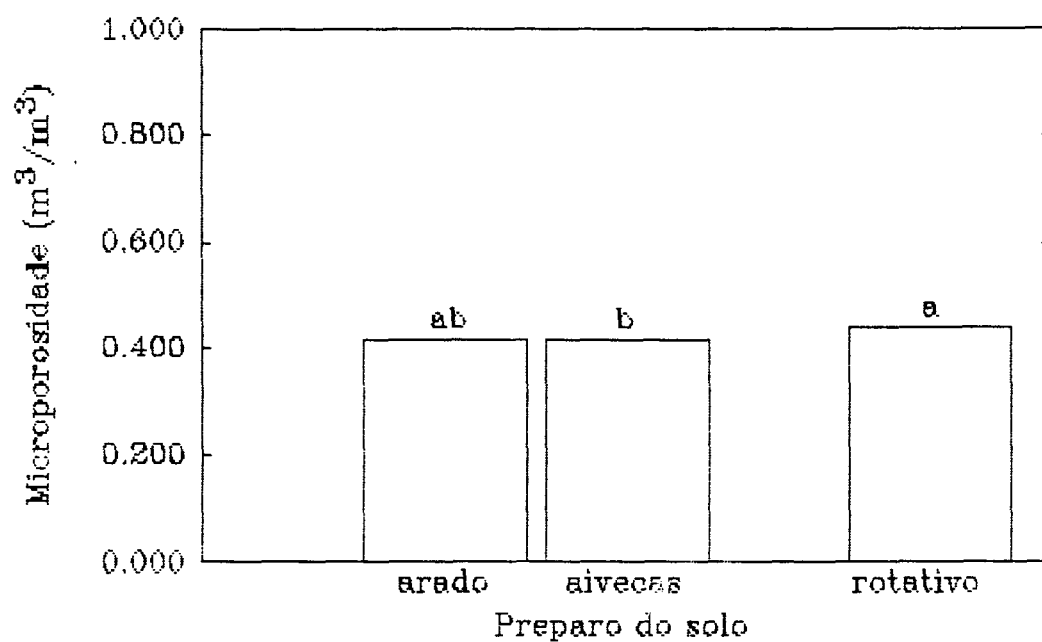


FIGURA 14 - Microporosidade do solo (m³/m³) em função do método de preparo para a cultura do milho

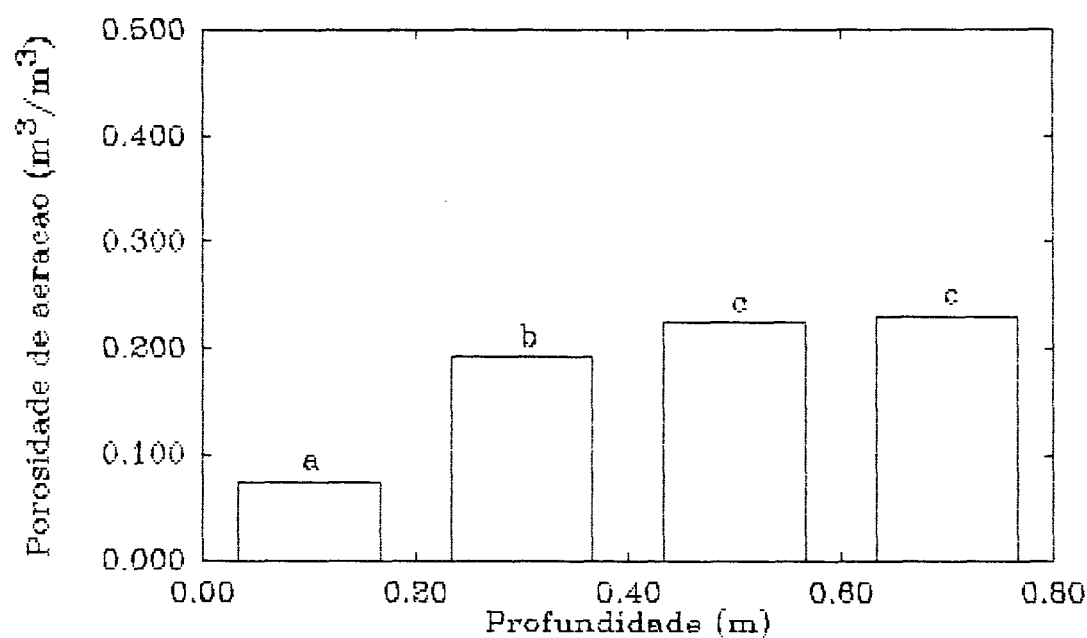


FIGURA 15 - Porosidade de aeração do solo (m³/m³) em função da profundidade de amostragem para a cultura do milho

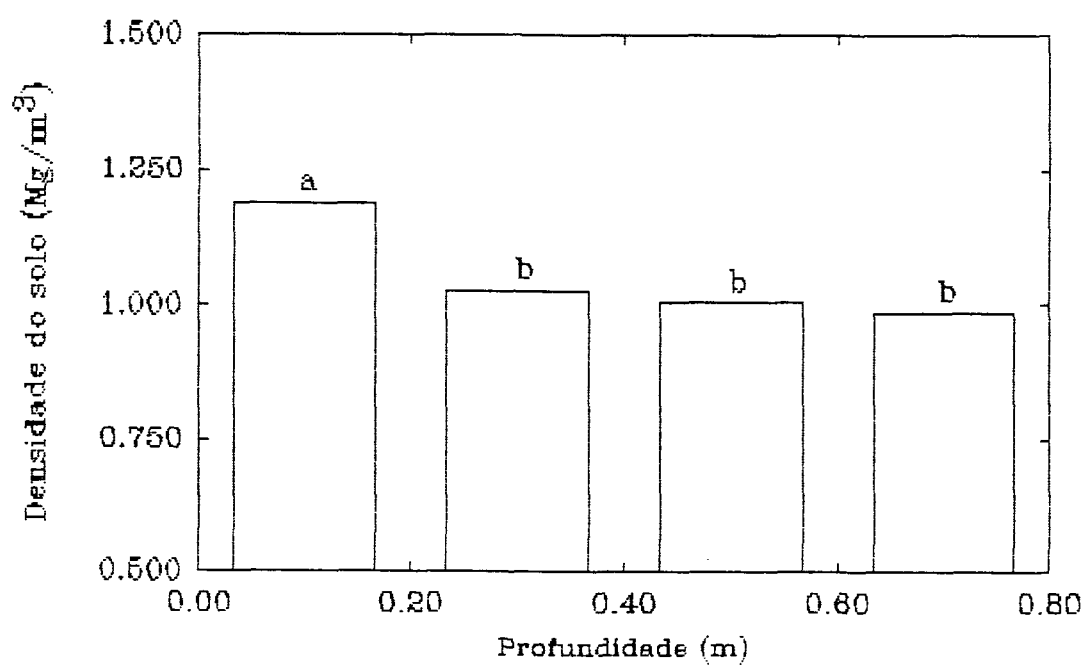


FIGURA 16 - Densidade do solo (Mg/m³) em função da profundidade de amostragem para a cultura do milho

5.2. CULTURA DA SOJA

Para a cultura da soja, somente no preparo com arado de discos foram retiradas amostras indeformadas e realizadas leituras de tsiometria nos tratamentos com e sem calcário. Assim, a análise estatística, para os parâmetros analisados à seguir, foi dividida em duas etapas: (1) preparo A, B e C, com calcário (70% de saturação de bases) e; (2) preparo A, com e sem calcário.

5.2.1. Perda e recarga de água no solo

A perda e a recarga de água no solo, no período de maior demanda hídrica da cultura (antese), apresentaram diferenças estatísticas significativas relativas a profundidade (Quadros 6 e 7). Os métodos de preparo e os níveis de calcário não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

A camada de 0 à 20 cm apresentou maior perda e recarga de água no solo, sendo diferente das demais ao nível de significância de 5% (Figuras 17, 18, 19 e 20). As figuras 17 e 19 mostram uma maior perda de água na camada de 0 à 20 cm, decrescentes com a profundidade até a camada de 60 à 80 cm.

A recarga é também decrescente até a camada de 60 à 80 cm (Figuras 18 e 20), evidenciando o comportamento do solo diante da frente de molhamento que atinge primeiramente as camadas superiores, recarregando-as.

QUADRO 6 - Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura da soja (tratamentos A,B e C, com calcário)

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F	
		Perda	Recarga
Bloco	2		
Preparo	2		
Resíduo (A)	4	0,1232	0,5012
Parcelas	8		
Profundidade	3	0,0012	0,0011
Prep*Prof	6	0,1840	0,5205
Resíduo (B)	18		
Total	35		

Média geral =	0,331667	0,228889
Coefficiente de variação (A) =	33,721 %	37,719 %
Coefficiente de variação (B) =	83,662 %	85,877 %

QUADRO 7 - Análise de variância da perda e recarga de água no solo para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F	
		Perda	Recarga
Bloco	2		
Calcário	1		
Resíduo (A)	2	0,2846	0,5691
Parcelas	5		
Profundidade	3	0,0131	0,0039
Calc*Prof	3	0,0854	0,0745
Resíduo (B)	12		
Total	23		

Média geral =	0,320417	0,237917
Coefficiente de variação =	50,279 %	64,223 %
Coefficiente de variação =	109,882 %	108,553 %

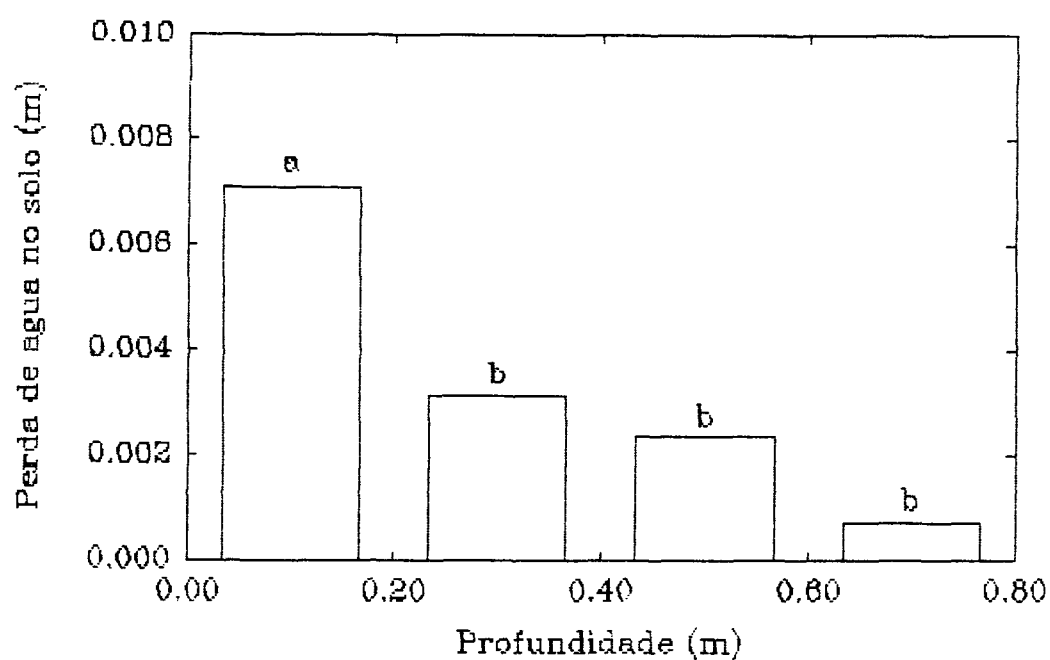


FIGURA 17 - Perda de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)

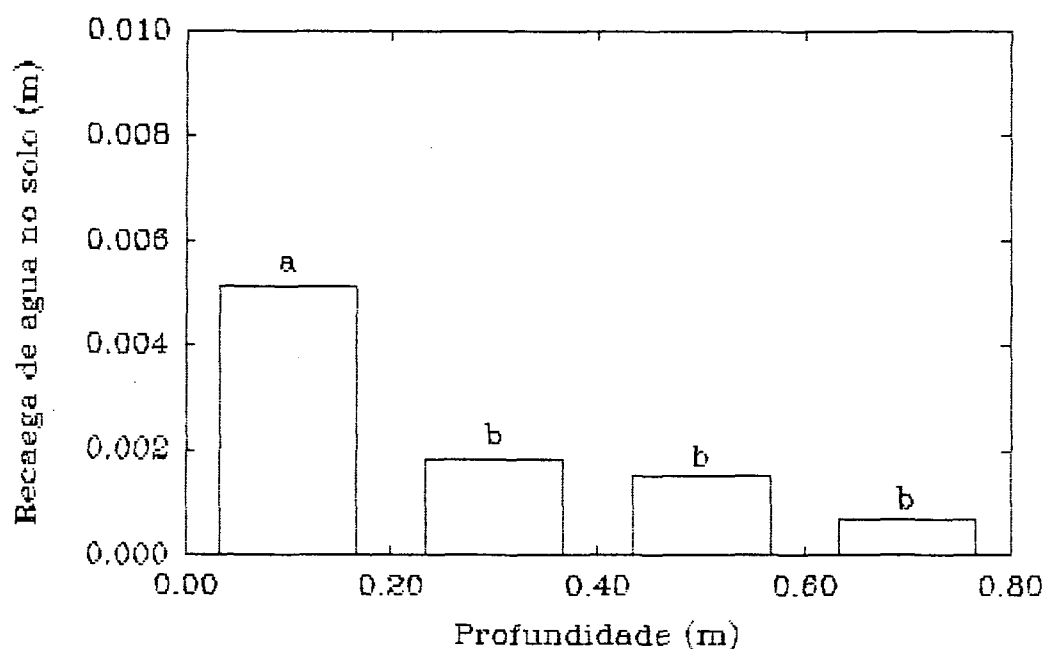


FIGURA 18 - Recarga de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, B e C, com calcário)

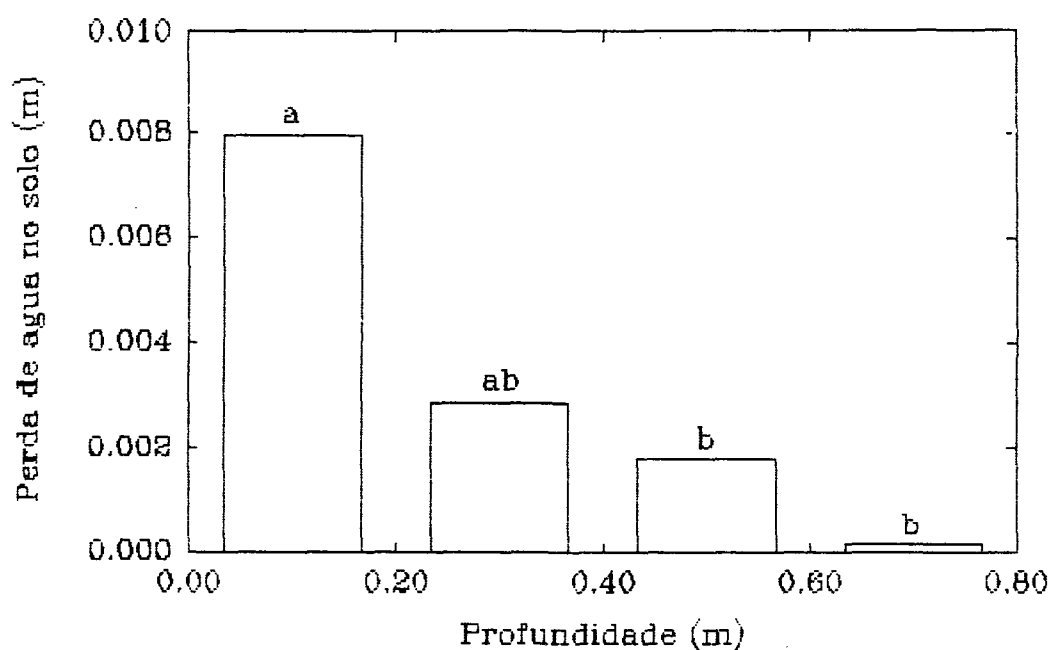


FIGURA 19 - Perda de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, sem calcário)

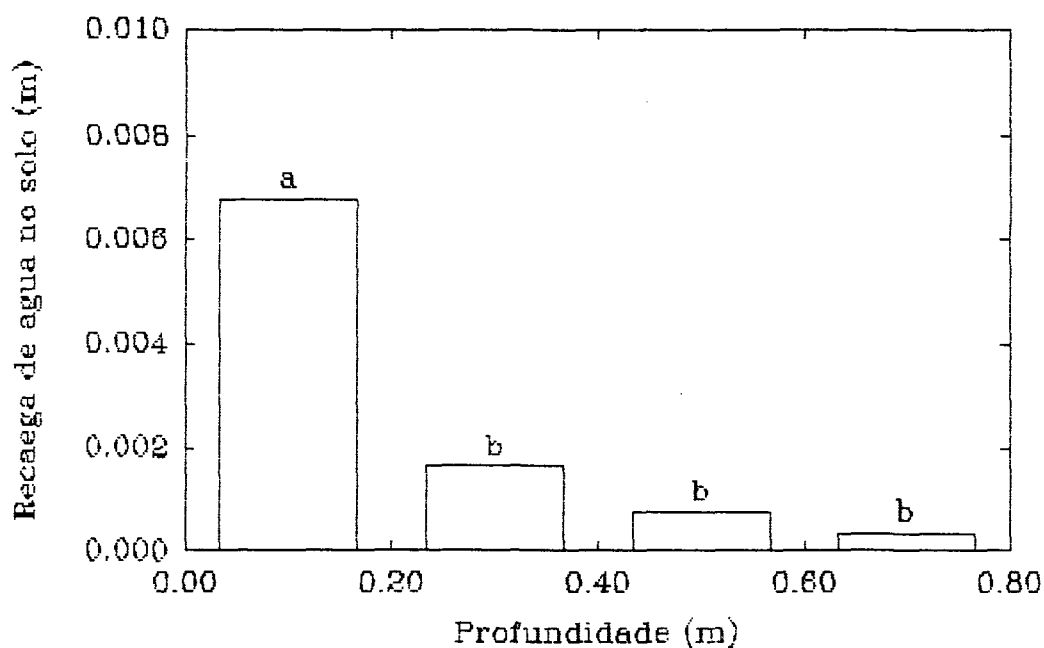


FIGURA 20 - Recarga de água no solo (m) em função da profundidade para a cultura da soja (tratamento A, sem calcário)

5.2.2. Potencial da água no solo

Analisando os gráficos de potencial (Figuras 21 à 24), pode-se concluir que o tensiômetro instalado à 10 cm de profundidade reagiu mais pronunciadamente a períodos de estiagem e as precipitações.

A alta variabilidade do potencial da água no solo deve ter ocorrido primariamente em função da maior quantidade de macroporos contínuos ("curto circuito") no segundo ano de plantio direto e secundariamente pelo rompimento de algumas cápsulas porosas durante a instalação, cujas leituras foram descartadas.

5.2.3. Armazenamento da água no solo

Analisando os gráficos de armazenamento da água no solo (Figuras 21 à 24), no período de maior demanda hídrica da cultura, pode-se concluir que nos tratamentos com arado de discos com calcário e arado rotativo houve maior armazenamento de água nas camadas de 0 à 20 e 20 à 40 cm, seguidas pelas camadas inferiores. No tratamento com arado de discos sem calcário, a camada de 0 à 20 cm apresentou maior armazenamento de água em relação as outras camadas. Nestes tratamentos a camada de 0 à 20 cm reagiu mais pronunciadamente com relação as precipitações e períodos de estiagem.

No tratamento com arado de aivecas evidencia-se maior armazenamento de água na camada de 0 à 20 cm, seguida pelas camadas de 60 à 80 cm, 40 à 60 cm e 20 à 40 cm.

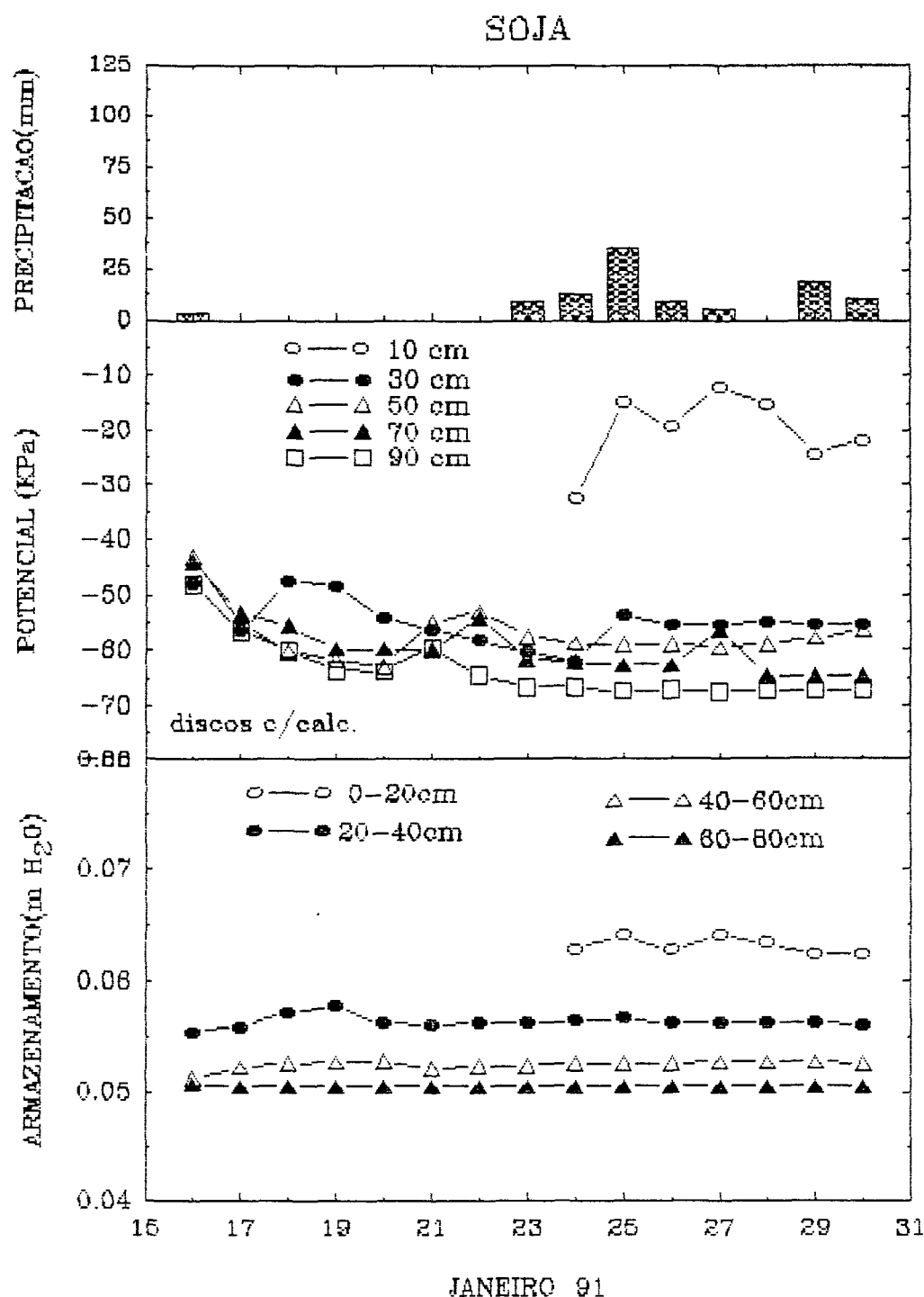


FIGURA 21 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento A, com calcário)

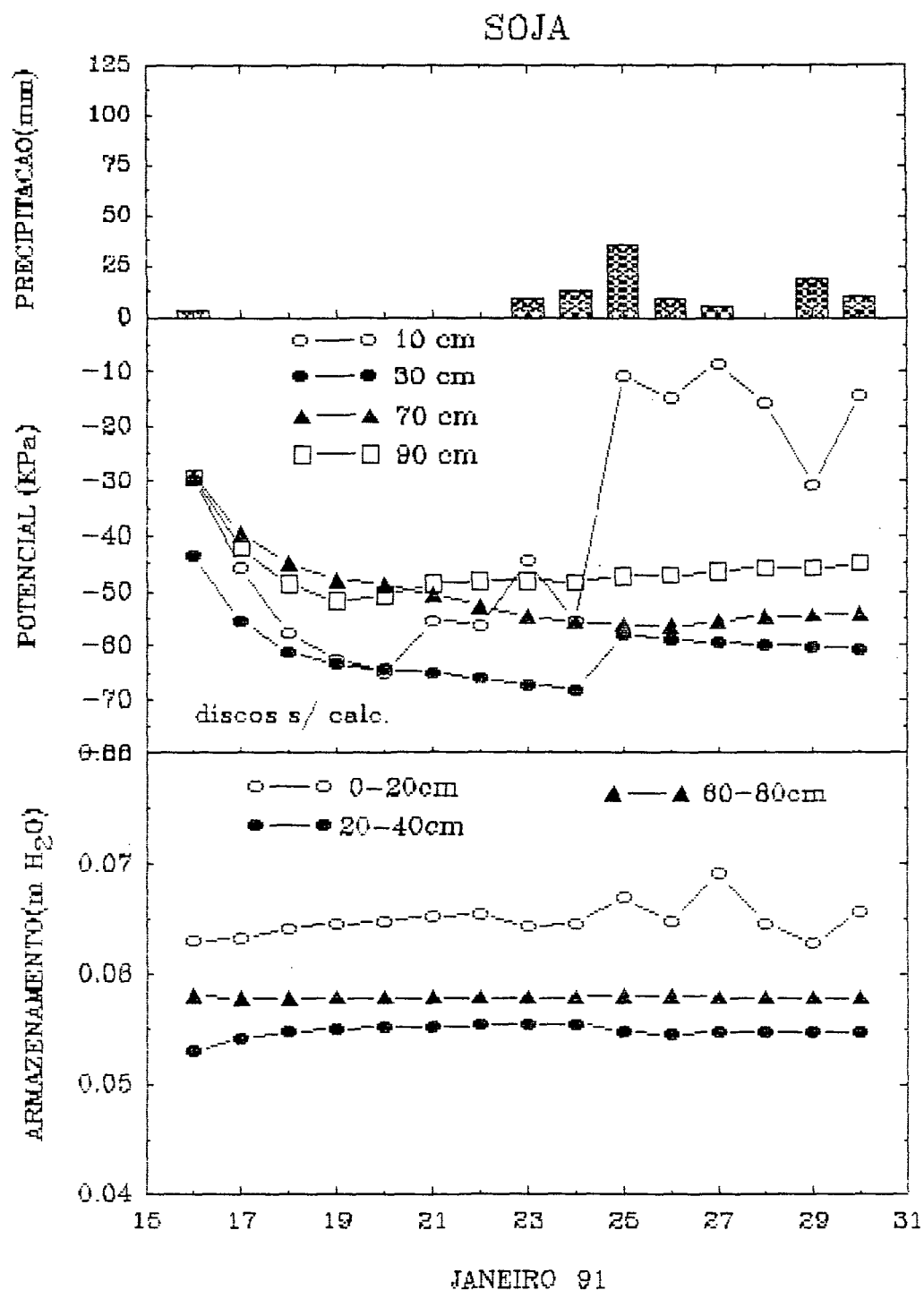


FIGURA 22 - Potencial (kPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento A, sem calcário)

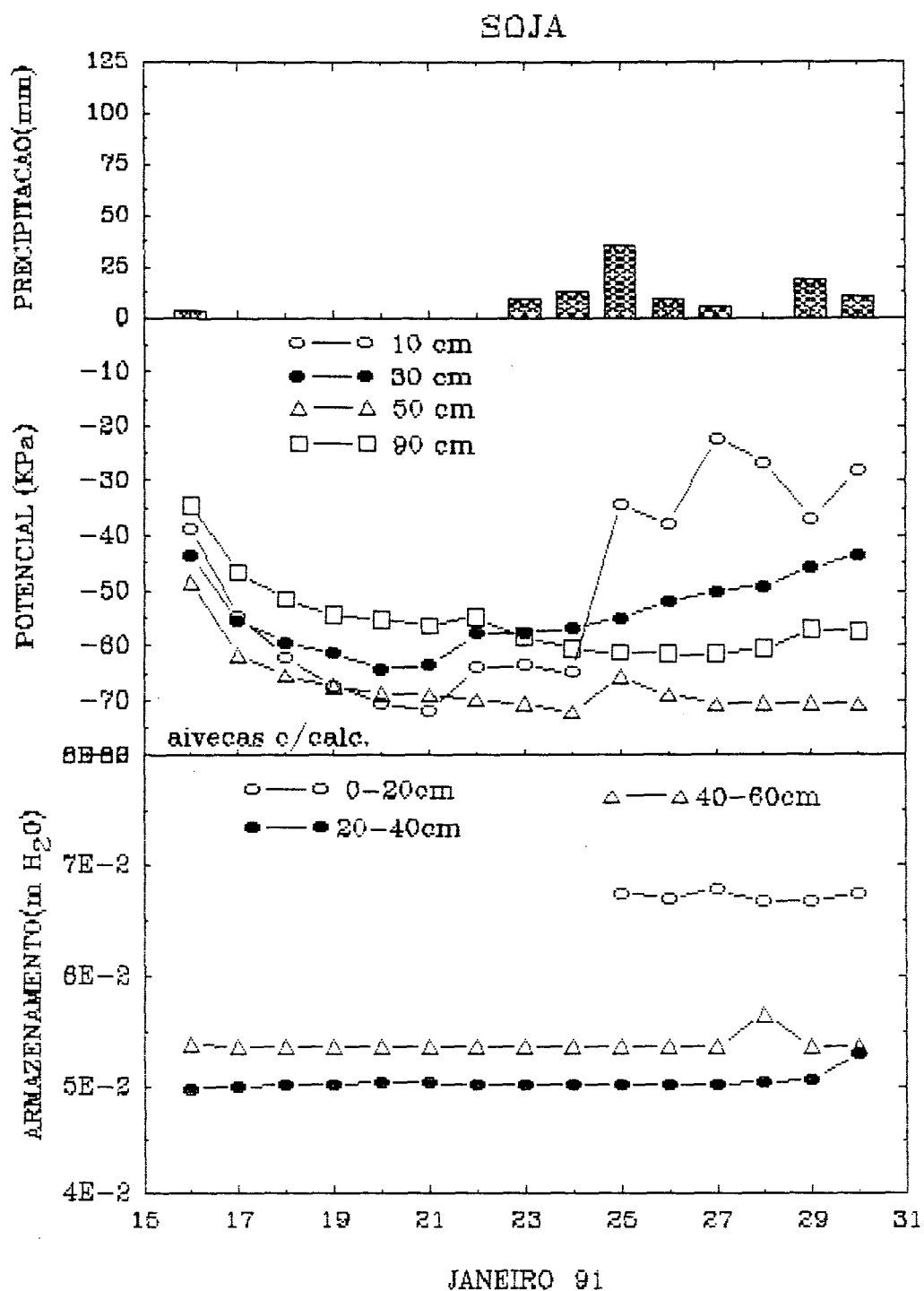


FIGURA 23 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento B, com calcário)

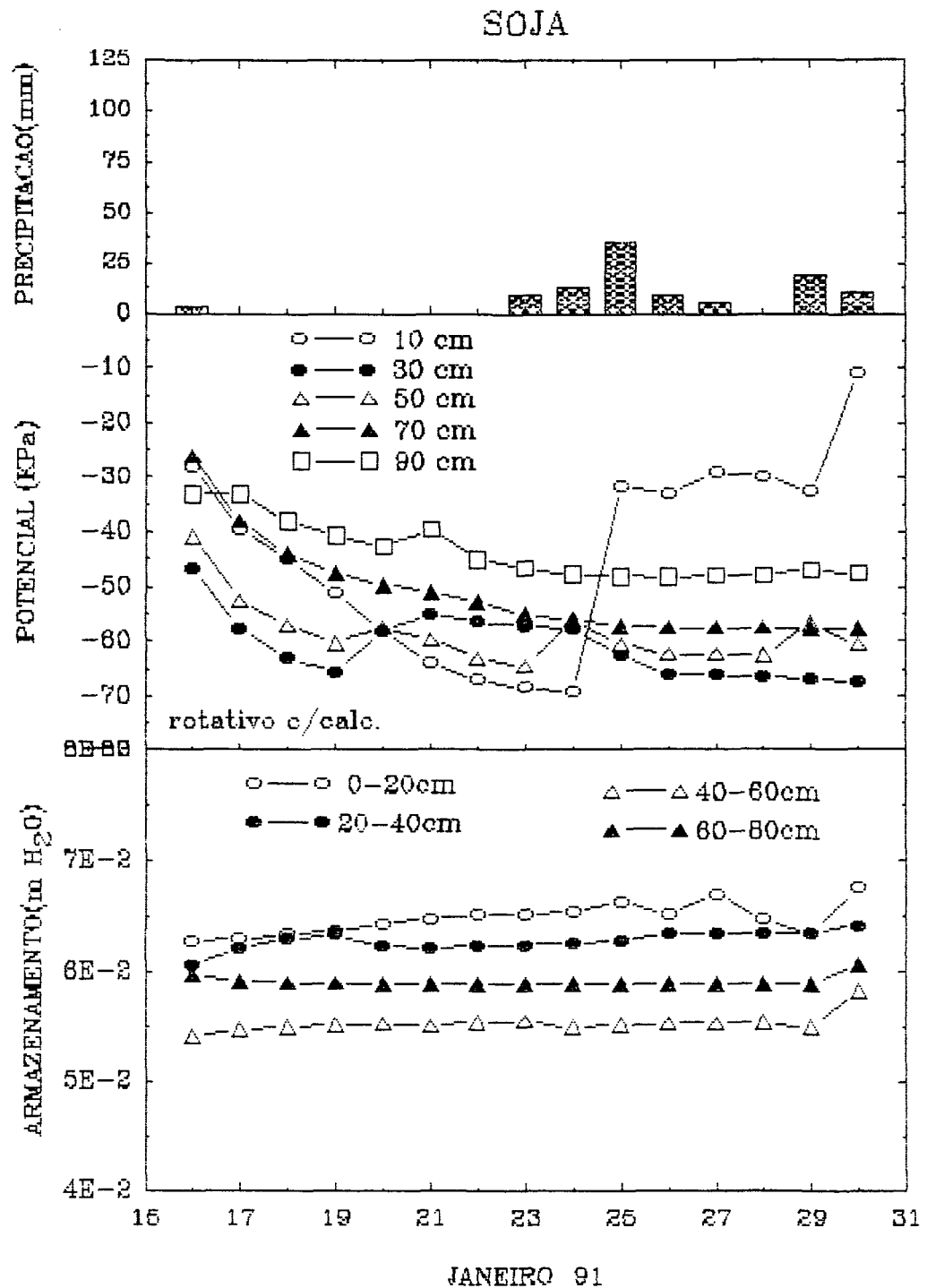


FIGURA 24 - Potencial (KPa) e armazenamento (m) da água no solo em função da profundidade de amostragem e da precipitação para a cultura da soja (tratamento C, com calcário)

5.2.4. Capacidade de água prontamente disponível

A análise de variância dos tratamentos A, B e C apresentou diferenças estatísticas significativas relativas à profundidade. Preparo não apresentou diferenças estatísticas significativas (Quadro 8).

Através do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, a camada de 60 à 80 cm difere das demais, apresentando esta menor capacidade de água prontamente disponível (Figura 25). A figura mostra que a capacidade de água prontamente disponível foi maior na camada de 20 à 40 cm.

A análise de variância do preparo A não apresentou diferenças estatísticas significativas (Quadro 9).

5.2.5. Porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo

A análise de variância dos tratamentos A, B e C, para porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e densidade do solo apresentou diferenças estatísticas significativas relativas à profundidade (Quadro 10). Os métodos de preparo não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Para a porosidade total, ao nível de 5% de significância, a primeira camada difere da segunda, que é igual à última e diferente da terceira (Figura 26). A figura mostra também que a porosidade total é menor na camada de 0 à 20 cm e aumenta com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm.

QUADRO 8 - Análise de variância da capacidade de água prontamente disponível para a cultura da soja (tratamentos A,B e C, com calcário)

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F
Bloco	2	0,2266
Preparo	2	
Resíduo (A)	4	
Parcelas	8	0,0053
Profundidade	3	
Bloc*Prof	6	
Prep*Prof	6	0,6881
Resíduo (B)	12	
Total	35	

Média geral = 0,1444

Coefficiente de variação (A) = 8,528 %

Coefficiente de variação (B) = 13,248 %

QUADRO 9 - Análise de variância da capacidade de água prontamente disponível para a cultura da soja (tratamento A, com e sem calcário)

causas da variação	grau de liberdade	prob. > F
Bloco	2	0,8195
Calcário	1	
Resíduo (A)	2	
Parcelas	5	0,2260
Profundidade	3	
Bloc*Prof	6	
Calc*Prof	3	0,9970
Resíduo (B)	6	
Total	23	

Média geral = 0,154583

Coefficiente de variação = 8,005 %

Coefficiente de variação = 10,809 %

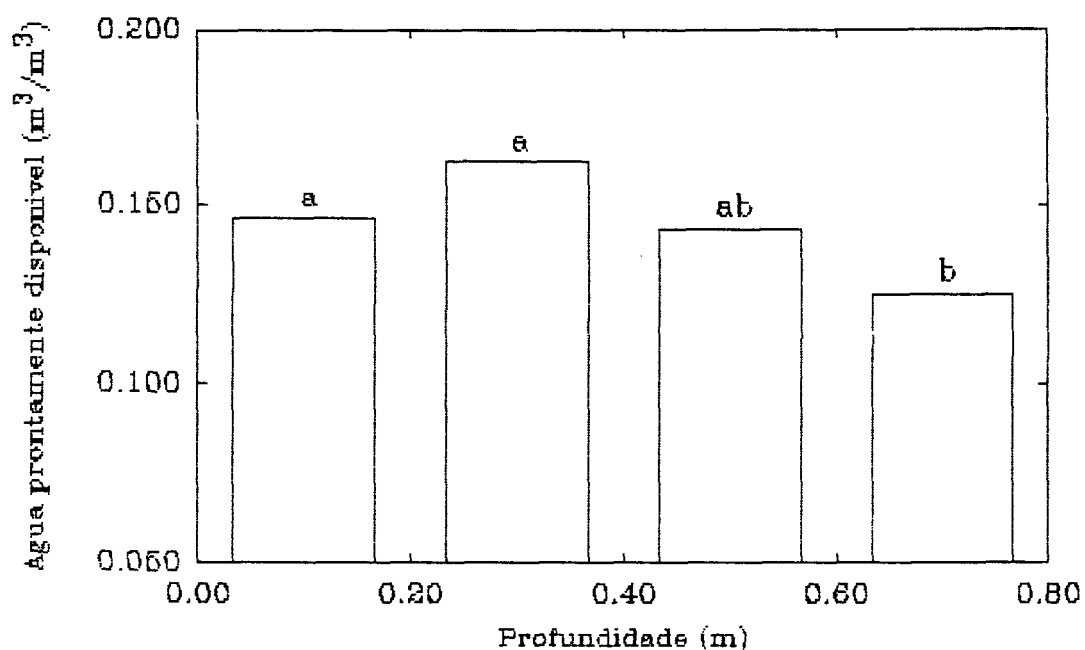


FIGURA 25 - Capacidade de água prontamente disponível(m³/m³) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja

QUADRO 10 - Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e da densidade do solo para a cultura da soja (tratmentos A, B e C, com calcário)

causas da variação	grau de liberdade	Probabilidade > F			
		Porosidade total	Microporo sidade	Porosidade de aeração	Densidade do solo
Bloco	2				
Preparo	2				
Resíduo (A)	4	0,0779	0,4401	0,1813	0,0834
Parcelas	8				
Profundidade	3	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000
Prep*Prof	6	0,0552	0,5362	0,4502	0,0531
Resíduo (B)	18				
Total	35				

Média geral =	0,617500	0,453333	0,164167	1,018611
Coefficiente de variação (A) =	1,863 %	3,873 %	14,895 %	3,176 %
Coefficiente de variação (B) =	2,253 %	6,901 %	23,555 %	3,887 %

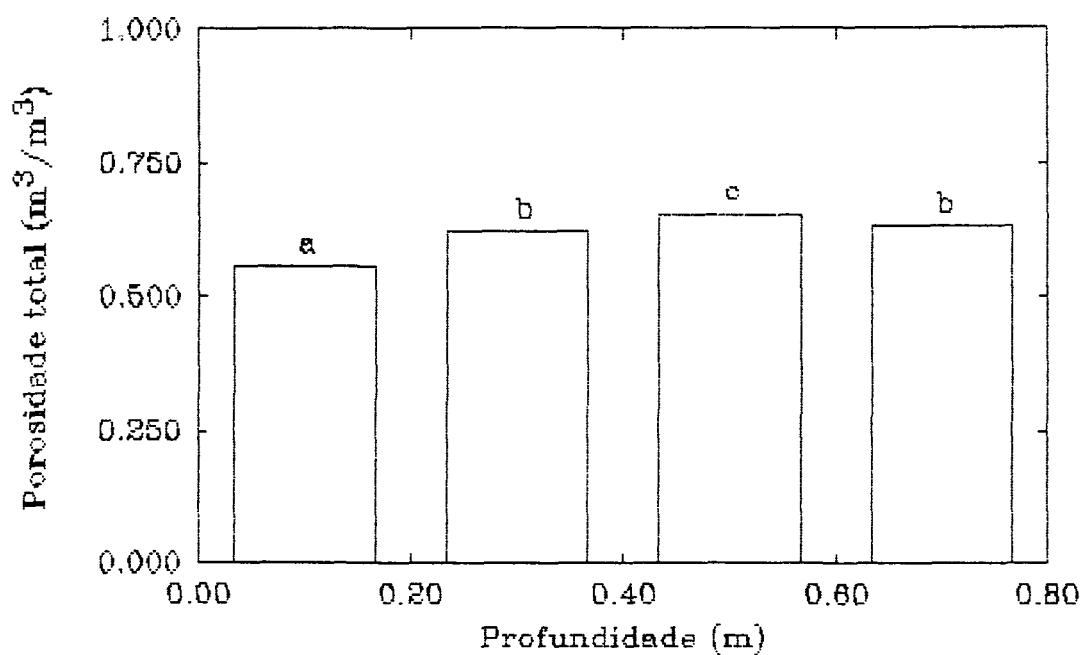


FIGURA 26 - Porosidade total do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja

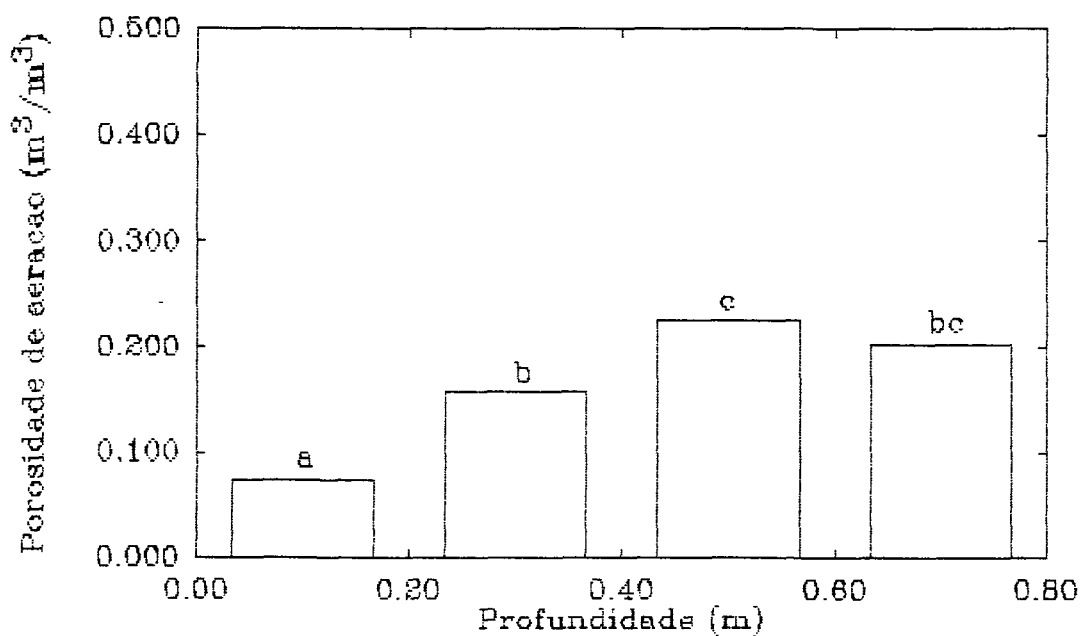


FIGURA 27 - Porosidade de aeração do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja

Para a porosidade de aeração, ao nível de 5% de significância, a primeira camada difere da segunda, que é igual à última, e esta, por sua vez, é igual à terceira camada (Figura 27). A porosidade de aeração é menor na camada de 0 à 20 cm e aumenta com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm.

Para a microporosidade do solo, ao nível de 5% de significância, a camada superficial é igual à segunda camada e, esta é igual as demais (Figura 28). A microporosidade é maior na camada de 0 à 20 cm e diminui com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm.

Para a densidade do solo, a camada superficial difere estatisticamente da segunda camada, que por sua vez é igual à última camada e diferente da terceira (Figura 29). A densidade do solo é maior na camada de 0 à 20 cm e diminui com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm.

A análise de variância do tratamento A, para microporosidade não apresentou diferenças estatísticas significativas (Quadro 11)

A análise de variância do tratamento A, para porosidade total, porosidade de aeração e densidade do solo apresentou diferenças estatísticas significativas relativas à profundidade (Quadro 11). Os níveis de calcário não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Para a porosidade total, a porosidade de aeração e a densidade do solo, a camada de 0 à 20 cm difere estatisticamente da segunda camada, que difere das camadas inferiores (Figuras 30, 31 e 32).

A porosidade total e a porosidade de aeração são menores na camada de 0 à 20 cm e aumentam com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm (Figuras 30 e 31).

A densidade do solo é maior na camada de 0 à 20 cm e diminui com a profundidade até a camada de 40 à 60 cm (Figura 32).

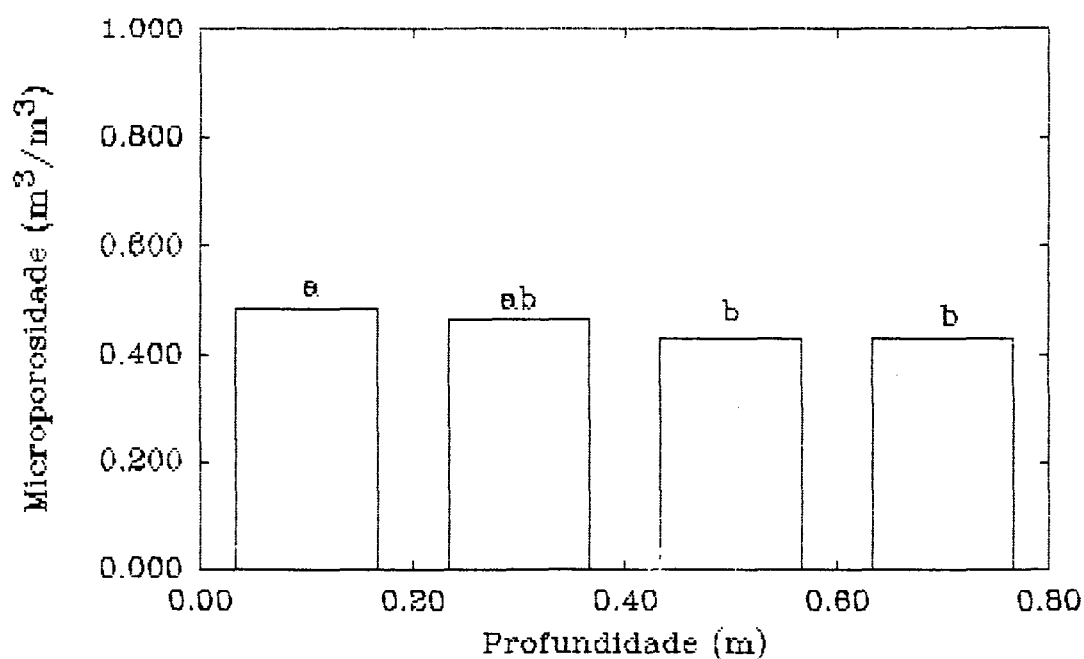


FIGURA 28 - Microporosidade do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja

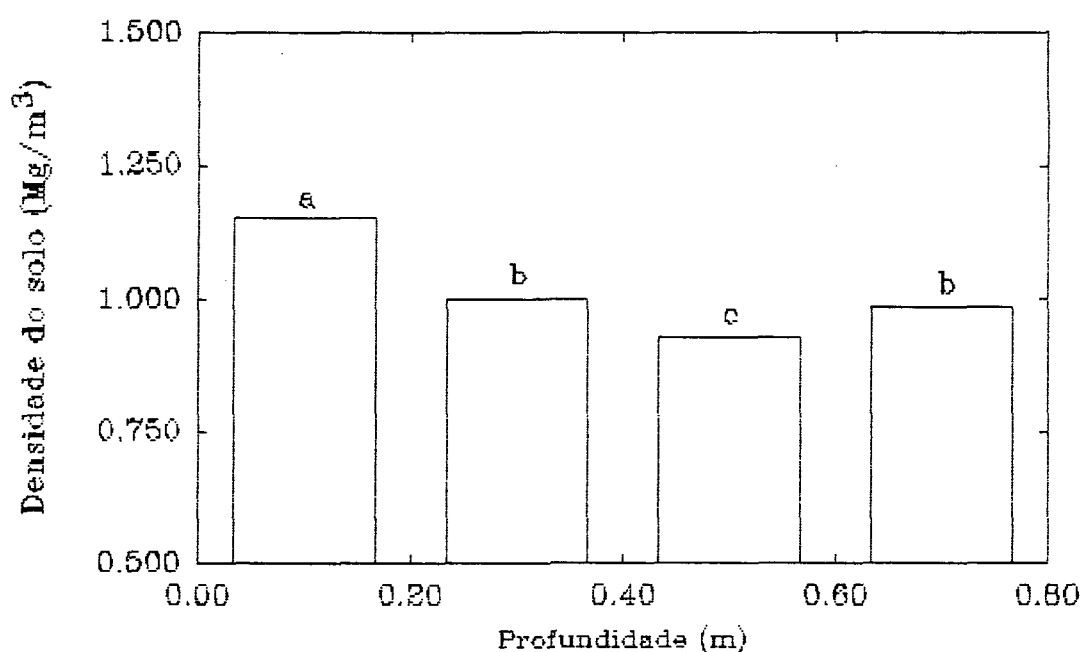


FIGURA 29 - Densidade do solo (Mg/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja

QUADRO 11 - Análise de variância da porosidade total, microporosidade, porosidade de aeração e da densidade do solo para a cultura da soja (tratamentos A, com e sem calcário)

causas da variação	grau de liberdade	Probabilidade > F			
		Porosidade total	Microporosidade	Porosidade de aeração	Densidade do solo
Bloco	2				
Calcário	1	0,5291	0,5599	0,7554	0,6641
Resíduo (A)	2				
Parcelas	5				
Profundidade	3	0,0000	0,0741	0,0000	0,0000
Calc*Prof	3	0,3470	0,3468	0,4086	0,2463
Resíduo (B)	12				
Total	23				

Média geral = 0,626667 0,459583 0,167083 0,992917
 Coeficiente de variação (A) = 0,431 % 1,601 % 5,290 % 0,617 %
 Coeficiente de variação (B) = 1,407 % 5,559 % 17,591 % 2,338 %

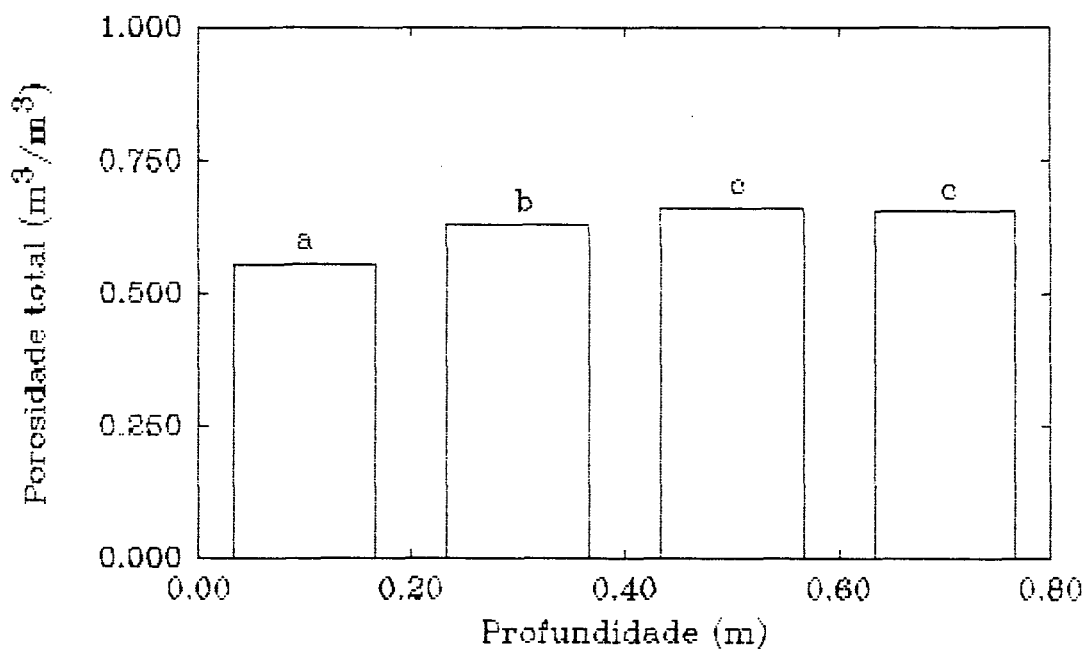


FIGURA 30 - Porosidade total do solo (m³/m³) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja (tratamento A)

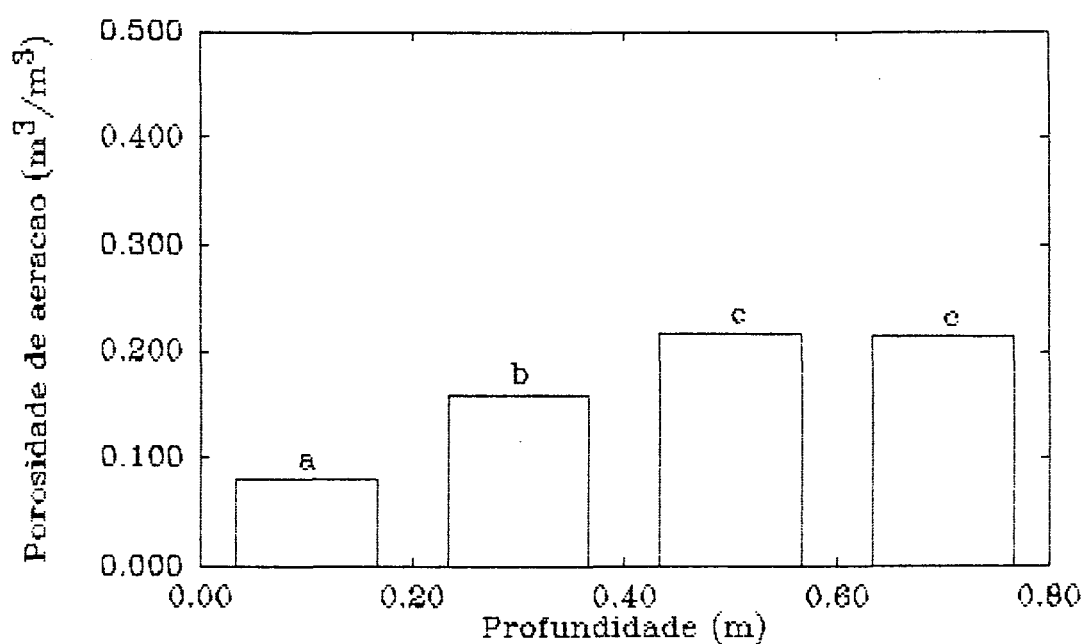


FIGURA 31 - Porosidade de aeração do solo (m^3/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja (tratamento A)

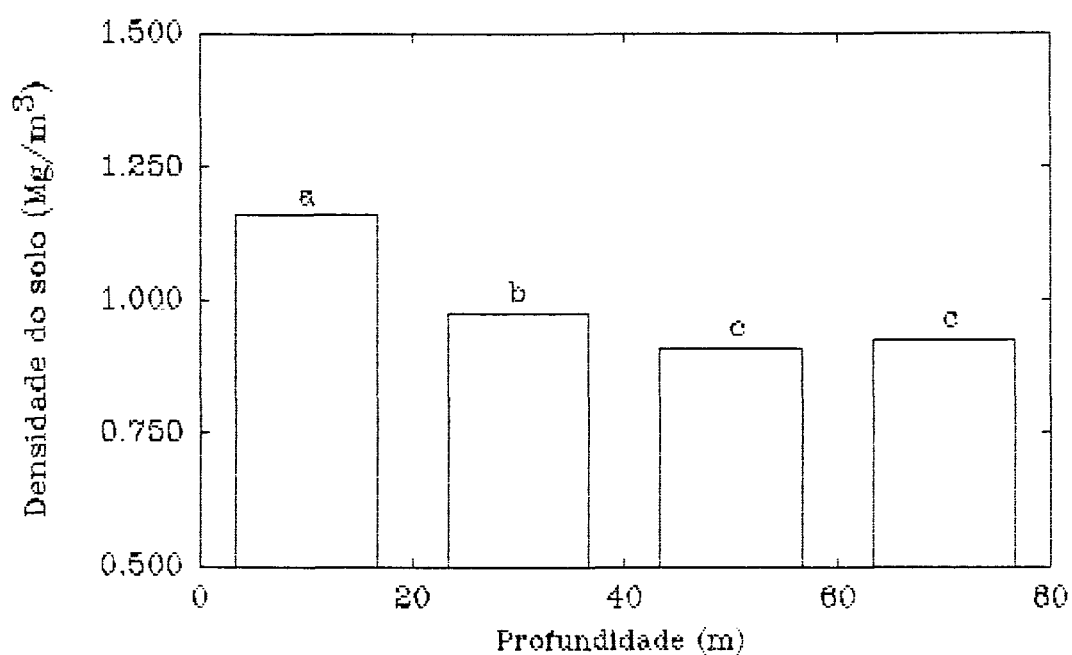


FIGURA 32 - Densidade do solo (Mg/m^3) em função da profundidade de amostragem para a cultura da soja (tratamento A)

6. DISCUSSÃO

6.1. DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO

A habilidade das plantas em explorar água e nutrientes contidos em um horizonte do solo depende grandemente da concentração de raízes neste horizonte (MARSHALL e HOLMES, 1979) que, por sua vez, depende das condições físicas e químicas deste horizonte. A estrutura porosa do solo determina o armazenamento de água no solo e o conteúdo de água disponível para as plantas.

Como a área em estudo vinha sendo sistematicamente usada com preparo convencional, com arado de discos à 20 cm de profundidade, havia nesta profundidade uma camada compactada, conforme comprovado por Tormena (1991) quando do estudo da compactação do solo no mesmo experimento, que dificultava a infiltração da água e a penetração de raízes além desta profundidade. Portanto, quando esta camada foi rompida, através dos preparos com arado de aivecas à 35 cm e arado rotativo à 60 cm de profundidade, possibilitou melhor enraizamento e maior infiltração da água, proporcionando provavelmente maior extração de água pelas plantas, além de facilitar a percolação da água em profundidade. Isto explica a maior perda de água nos preparos com arado de aivecas e arado rotativo quando comparado com o arado de discos para a cultura do milho.

Para a cultura da soja que é a quarta cultura do sistema de plantio direto, o efeito dos preparos já não foi mais sentido, sendo que a maior perda de água na camada de 0 à 20 cm comparativamente as demais camadas em profundidade é explicada pela maior concentração radicular nesta camada que diminui progressivamente com a profundidade, conforme comprovado por Comin (1992) quando do estudo do desenvolvimento radicular no mesmo experimento.

Os resultados de desenvolvimento radicular mostram também que as plantas buscam água em profundidade somente se houver necessidade, ou seja, caso o suprimento de água e nutrientes seja satisfatório nas camadas superficiais, o desenvolvimento radicular se concentra nestas camadas, como ocorreu neste estudo. É importante observar que nos dois anos considerados, no período antecedente ao de leitura de tensiometria, choveu normalmente, não caracterizando condição de estiagem.

A maior umidade do solo pode, ocasionalmente, reduzir a aeração do solo, resultando em menor desenvolvimento de raízes (BARBER, 1971). Porém, por outro lado, um suprimento adequado de água e nutrientes pode concentrar o desenvolvimento radicular nas camadas superficiais do solo, sem necessidade de um maior desenvolvimento em profundidade. BARBER et al. (1988) mostraram que a densidade radicular do milho, na camada de zero à 15 cm, foi altamente correlacionada com a precipitação ocorrida durante as três semanas anteriores à antese. TAYLOR et al. (1984) cita que mesmo com altas densidades (1,70 à 1,76 g/cm³) raízes penetraram no solo quando o potencial de água no solo foi mantido em ou acima de -100 KPa. Isto evidencia que a água é um dos principais fatores regulando o desenvolvimento radicular.

As raízes desenvolvem-se em profundidade, se a condição física do solo não for restritiva, somente quando a condição química permitir. Não havendo condições químicas adequadas ao desenvolvimento radicular, as raízes exploram menor volume de solo, podendo sofrer com períodos prolongados de estiagem, comprometendo a produtividade da cultura. Raízes profundas fazem com que a planta seja menos vulnerável à períodos de estiagem (MARSHALL e HOLMES, 1979) e levam a um melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis no solo. Quando a camada superior do solo seca, a taxa de crescimento radicular aumenta para maiores profundidades, para camadas mais úmidas (MACKAY e BARBER, 1985). A correção do solo em maiores profundidades, induz a um maior enraizamento, com

maior volume de solo explorado (CASSEL, 1980; RITCHEY et. al., 1981; RITCHEY et. al., 1982 e GONZALEZ-ERICO, 1979).

Os resultados de potencial da água no solo enfatizam a importância das camadas superficiais do solo para o desenvolvimento radicular, pois os tensiômetros instalados à 10 cm (milho e soja) e à 30 cm de profundidade (milho) reagiram mais pronunciadamente à períodos de estiagem e as precipitações, o que demonstra claramente o comportamento do solo diante da frente de molhamento e da concentração de raízes nas camadas superiores, caracterizando maior extração de água nestas camadas. O tensiômetro instalado à 90 cm de profundidade manteve-se relativamente constante, o que denuncia a pouca influência da frente de molhamento e praticamente a ausência de raízes nesta profundidade. O preparo com arado de discos apresentou valores de tensão mais elevados, ou seja, menor umidade que os preparos com arado de aivecas e rotativo, para a cultura do milho. Neste tratamento houve maior compactação à 20 cm (Tormena, 1991), o que dificultou a infiltração de água além desta profundidade, conforme comprovado também por outros pesquisadores (ANDREINI e STEENHUIS, 1990; KEMPER e DERPSCH, 1981; EHLERS, 1977; HORTON et. al., 1989 e GOSS et. al., 1984).

O armazenamento de água no solo foi maior, via de regra, para as camadas de 0 à 20 cm. Isto se justifica, pois apesar de ter havido maior extração de água na camada de 0 à 20 cm, foi também a primeira a ser recarregada pela frente de molhamento. As reações mais pronunciadas com relação as precipitações e à períodos de estiagem ocorreram geralmente na camada de 0 à 20 cm, ou seja, a primeira a receber a frente de molhamento e a mais explorada pelas raízes. Para a cultura do milho o preparo com arado rotativo apresentou maior armazenamento de água no solo quando comparado aos demais preparos. Tormena (1991) evidenciou maior tendência a compactação neste preparo, portanto, maior proporção de microporos responsáveis pelo armazenamento de água.

O maior armazenamento de água no solo nas camadas 0 à 20 cm, nem sempre correspondeu as maiores capacidades de água prontamente disponível para as plantas, que para a cultura do milho apresentou menor valor em superfície, crescendo em profundidade e, para a cultura da soja apresentou maior valor na camada de 20 à 40 cm. A complexidade do movimento e retenção de água no solo é grandemente afetada pelas alterações em sua estrutura porosa. Como este estudo abrangeu os dois primeiros anos após a implantação do sistema de plantio direto, pode-se inferir que o solo encontrava-se na fase de reorganização estacional progressiva (HAMBLIN, 1982). Portanto, alguns resultados não são exatamente o que seria esperado para solos sob plantio direto a longo prazo.

Conforme colocado por HAMBLIN (1982), HILL et. al. (1985) e MIELKE et. al. (1986), solos preparados convencionalmente drenam mais rapidamente, apresentando maiores condutividades hidráulicas saturadas do que solos sob plantio direto. Estes, por sua vez, retêm mais água disponível para as plantas e mantêm condutividades hidráulicas insaturadas mais altas. A condição do solo estudado encontra-se bastante próxima da condição do solo estudado por ZAI et. al. (1990), que comparou plantio direto a longo prazo, plantio direto instalado a um ano e plantio convencional, chegando a conclusão de que o plantio direto a um ano possui maior conteúdo de água que o plantio convencional, porém, menor que o plantio direto a longo prazo.

HILL et. al. (1985) observou ainda que o plantio direto requer três à quatro anos para apresentar uma porosidade mais favorável na camada de 0 à 15 cm, quando comparado com o preparo convencional. A camada superficial de solos sob plantio direto apresenta maior compactação, confinada aos primeiros 7,5 à 15 cm, quando comparada as demais camadas em profundidade, devido ao não revolvimento e uso de maquinário pesado intensivamente sobre o solo (GERIK et. al., 1987; OLIVEIRA et. al., 1990 e MIELKE et. al., 1986). Desta forma, é justificável, a menor capacidade de água prontamente disponível na camada de 0 à 20 cm,

quando comparada a camada de 20 à 40 cm, tanto para a cultura do milho como para a da soja. A camada superficial apresentou maior microporosidade e maior densidade do solo, as quais diminuíram com a profundidade e, menor porosidade total e de aeração, ambas aumentando com a profundidade. É importante salientar que a porosidade de aeração, nesta camada, ficou abaixo dos níveis críticos ($0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), conforme evidenciado por TORMENA (1991), porém, aparentemente não foi restritivo para o desenvolvimento radicular. A compactação do solo provoca um aumento na densidade do solo e uma redução na porosidade total, com um aumento na proporção de poros menores em detrimento dos maiores (KLUTE, 1982). Quanto menores os poros, mais fortemente a água estará retida e conseqüentemente, maior deverá ser a energia para retirá-la (REICHARDT, 1987 e KLAR, 1984).

A estabilização da estrutura do solo no plantio direto é favorecida, justamente pelo não revolvimento do mesmo ao longo dos anos. Porém, existem problemas potenciais oriundos da compactação do solo na camada mais superficial, ficando confinado normalmente aos 10 cm superficiais. Mesmo assim, quando comparado ao preparo convencional, o plantio direto apresenta maior conteúdo de água nesta camada (OLIVEIRA et. al., 1990). O não revolvimento do solo associado à cobertura morta, portanto maior conteúdo de matéria orgânica e maior umidade no solo, favorece o desenvolvimento da mesofauna que, juntamente com o sistema radicular, promove o que pode ser chamado de preparo biológico do solo, sem contudo formar camadas compactadas (KEMPER e DERPSCH, 1981 e EDWARDS, 1990). Isto justifica a maior capacidade de água prontamente disponível no segundo ano do plantio direto, para a cultura da soja, comparativamente ao milho.

Porém, a contradição entre revolver ou não o solo para correção permanece. Entre as desvantagens do revolvimento estão a desestruturação do solo, desequilibrando a proporção de macro e microporos, a exposição do solo ao impacto direto das gotas da chuva provocando erosão e a interrupção da continuidade dos macroporos, com conseqüente aumento nas perdas

de solo e água, através do aumento do escoamento superficial. A vantagem da correção do solo é também contraditória, pois se há revolvimento à 20 ou à 35 cm, a correção será somente até esta profundidade. Contudo, como abordado por EDWARDS (1990), a aplicação de calcário em plantio direto por muitos anos, resultou na correção do solo até 65 cm de profundidade, pois os produtos da solubilização do calcário penetraram no solo através dos canais naturais produzidos por minhocas e por raízes de culturas anteriores. Estas considerações são ainda insuficientes para uma orientação conclusiva neste sentido, mas enfatizam a necessidade de mais estudos comparando o comportamento do solo sob plantio direto frente a correção por diferentes sais de cálcio. As diferenças na velocidade com que o cálcio se movimenta dentro do perfil do solo são explicadas pela natureza do ânion que o acompanha (RITCHEY et. al., 1981).

À despeito da condição física da primeira camada ser nitidamente menos favorável, o suprimento de água nesta camada não foi restritivo. O desenvolvimento radicular, conforme comprovado por COMIN (1992), foi maior nesta camada quando comparado as demais em profundidade. As culturas de milho e soja apresentaram boas produtividades, apesar da maior compactação da camada superficial (Quadro A4).

O preparo à 60 cm de profundidade, incluído neste estudo, causou maior prejuízo estrutural ao solo, devido provavelmente à maior mistura de horizontes, sem contudo trazer qualquer benefício que justificasse seu maior dispêndio de energia (potência e combustível) para o revolvimento desta camada do solo. Também, a quantidade de calcário necessária para atingir 70% da saturação de bases até 60 cm de profundidade é maior, quando comparada aos preparos em menores profundidades. Portanto, este método de preparo é inviável econômica e tecnicamente.

7. CONCLUSÕES:

7.1. Perda e recarga de água no solo, para a cultura do milho, apresentaram diferenças com relação ao preparo do solo, provavelmente por ser a segunda cultura do sistema de plantio direto, sofrendo ainda forte influência do preparo.

7.2. Para a cultura da soja houve diferença somente com relação a profundidade, sendo que a camada de 0 à 20 cm apresentou maior perda e recarga de água no solo quando comparada as demais camadas em profundidade.

7.3. A capacidade de água prontamente disponível menor na camada de 0 à 20 cm, quando comparada a camada de 20 à 40 cm, evidencia que a compactação superficial, provocada pelo sistema de plantio direto, está afetando negativamente a condição hídrica do solo.

7.4. O armazenamento de água no solo, para ambas as culturas, foi maior na camada 0 à 20 cm de profundidade.

7.5. O preparo à 60 cm de profundidade, além de promover a mistura de horizontes do solo, consome mais energia (potência e combustível) e calcário para atingir os mesmos 70 % de saturação de bases, sem contudo trazer nenhum benefício adicional, sendo portanto, questionável técnica e economicamente.

7.6. Para ambas as culturas estudadas, os níveis de calcário não mostraram diferenças estatísticas significativas.

8. RECOMENDAÇÕES:

- 8.1. A medição da condutividade hidráulica saturada e insaturada "in situ", para possibilitar a realização do balanço hídrico, deve produzir resultados mais completos para o estudo da água no solo.
- 8.2. O monitoramento dos parâmetros estudados durante todo o ciclo da cultura, acompanhado de parâmetros meteorológicos, seria importante para melhor caracterizar a demanda hídrica das culturas sob plantio direto.
- 8.3. Considerando a importância da camada superficial para a condição hídrica da cultura, seria interessante o controle do tráfego, minimizando desta maneira a compactação superficial promovida pelo sistema de plantio direto.

9. ANEXO

QUADRO A1 - Resultados da análise granulométrica após a instalação do experimento, média de três repetições

Preparo	Prof. (cm)	Areia fina	Areia grossa	Areia total	Silte	Argila
Arado de discos	0-10	18,13 (0,99)	19,80 (1,11)	37,50 (0,60)	16,07 (1,50)	46,00 (2,00)
	10-20	18,47 (0,42)	17,93 (1,68)	35,40 (2,12)	15,15 (2,68)	48,00 (2,60)
	20-30	18,27 (0,12)	16,60 (1,40)	35,27 (1,22)	15,13 (0,83)	50,00 (4,00)
	30-40	18,53 (1,50)	16,20 (0,72)	34,13 (1,14)	13,27 (0,83)	52,00 (0,00)
	40-50	18,60 (1,25)	16,20 (2,00)	33,33 (1,62)	11,47 (0,72)	54,67 (1,15)
	50-60	18,50 (1,15)	14,74 (0,20)	34,06 (0,50)	11,73 (0,80)	54,00 (2,31)
Arado de aivecas	0-10	18,87 (1,51)	18,67 (1,53)	37,53 (2,21)	14,47 (2,21)	48,00 (0,00)
	10-20	18,13 (0,81)	18,93 (1,01)	37,07 (1,81)	14,93 (1,81)	50,00 (0,00)
	20-30	17,67 (2,66)	17,20 (1,51)	34,87 (4,12)	15,13 (2,32)	52,00 (2,00)
	30-40	16,80 (0,40)	17,87 (0,99)	34,67 (0,50)	13,33 (0,50)	53,33 (0,00)
	40-50	18,27 (1,03)	17,13 (1,14)	34,33 (1,20)	12,33 (3,59)	56,00 (2,00)
	50-60	18,20 (0,31)	17,13 (1,14)	34,60 (4,20)	10,13 (3,50)	56,00 (2,00)
Enxada rotativa	0-10	18,00 (0,80)	20,87 (2,00)	38,87 (2,30)	11,80 (1,40)	49,33 (1,15)
	10-20	19,53 (2,23)	18,40 (2,09)	37,93 (0,61)	12,73 (0,61)	49,33 (1,15)
	20-30	18,07 (1,72)	19,40 (0,72)	37,47 (1,79)	12,53 (1,79)	50,00 (0,00)
	30-40	18,07 (0,76)	19,00 (1,40)	37,07 (1,75)	13,40 (1,75)	51,33 (0,00)
	40-50	18,33 (1,53)	18,53 (1,40)	35,47 (1,80)	11,87 (1,17)	52,67 (2,31)
	50-60	17,16 (1,31)	18,27 (2,61)	35,57 (2,86)	11,00 (1,17)	53,33 (2,10)

Os valores entre parenteses referem-se ao desvio padrão da média

Método utilizado: Vetori

Quadro A2 - Resultados da densidade das partículas (g/cm³) por tratamento de preparo, média de três repetições

PROFUNDI	PREPARO DO SOLO		
DADE (cm)	A	B	C
0 - 20	2,62 (0,07)	2,68 (0,06)	2,69 (0,07)
20 - 40	2,65 (0,06)	2,66 (0,06)	2,68 (0,03)
40 - 60	2,69 (0,06)	2,71 (0,07)	2,67 (0,06)
60 - 80	2,69 (0,06)	2,71 (0,07)	2,67 (0,06)

Os valores entre parenteses referem-se ao desvio padrão da média

Método utilizado: balão volumétrico

Fonte: Tormena (1991)

QUADRO A3 - Caracterização química do solo previamente à instalação do experimento

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Acetato meq/100cm ³ de solo					P ppm	C %
		Al 3+	H + Al 3	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca 2+	K+		
0-10	5,2	0,00	5,5	4,7	3,1	0,40	9,5	2,2
10-20	4,9	0,10	6,2	2,8	1,7	0,20	3,0	2,2
20-30	4,6	0,50	5,6	1,4	0,7	0,08	0,9	2,0
30-40	4,6	0,40	5,5	1,3	0,7	0,05	0,5	1,5
40-50	4,7	0,20	5,2	1,4	0,8	0,04	-	1,5
50-60	4,8	0,06	4,8	1,5	0,9	0,03	-	1,3

Médias de três repetições

Método de rotina

QUADRO A4 - Produtividade das culturas de milho (híbrido P 3230) e soja (variedade Iguaçu) em Kg/ha, média de três repetições

Culturas	Preparos		
	A	B	C
milho	10.381 (381)	9.853 (1047)	9.355 (1153)
soja	3.235 (750)	4.042 (288)	3.832 (852)

Os valores entre parenteses referem-se ao desvio padrão da média

QUADRO A5 - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação no período de 12/12 à 26/12/89, para a cultura do milho

Data	Temperatura (oC)			Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)
	mínima	máxima	média		
12	19	32	25,5	56	125
13	18	34	26,0	53	
14	19	30	24,5	58	
15	18	29	23,5	49	
16	15	32	23,5	45	
17	20	33	26,5	43	
18	16	29	22,5	93	
19	14	20	17,0	75	80
20	14	22	18,0	67	7,5
21	12	30	21,0	45	30
22	13	32	22,5	40	
23	19	36	27,5	41	
24	19	37	28,0	40	
25	15	33	24,0	56	
26	15	29	22,0	60	

QUADRO A6 - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação no período de 16/01 à 30/01/91, para a cultura da soja

Data	Temperatura (oC)			Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)
	mínima	máxima	média		
16	18	33	25,5	42	2,5
17	19	39	29,0	53	
18	13	25	19,0	50	
19	12	29	20,5	40	
20	14	32	23,0	41	
21	15	35	25,0	42	
22	17	35	26,0	45	
23	16	36	26,0	37	9,0
24	19	32	25,5	47	12,5
25	17	26	21,5	60	35,5
26	15	29	22,0	59	9,5
27	13	30	21,5	44	5,0
28	15	31	23,0	40	19,0
29	16	32	24,0	44	
30	17	25	21,0	62	

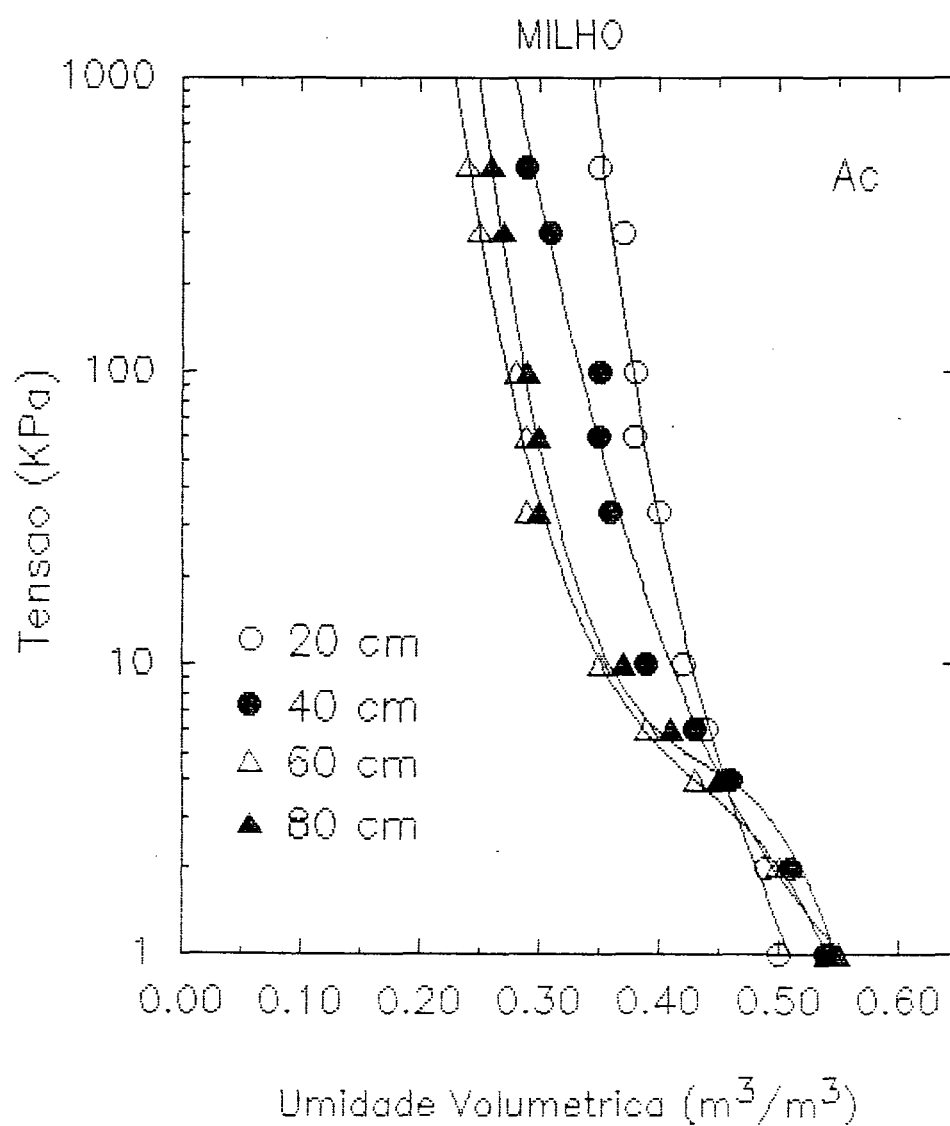


FIGURA A1 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, com calcário, para a cultura do milho

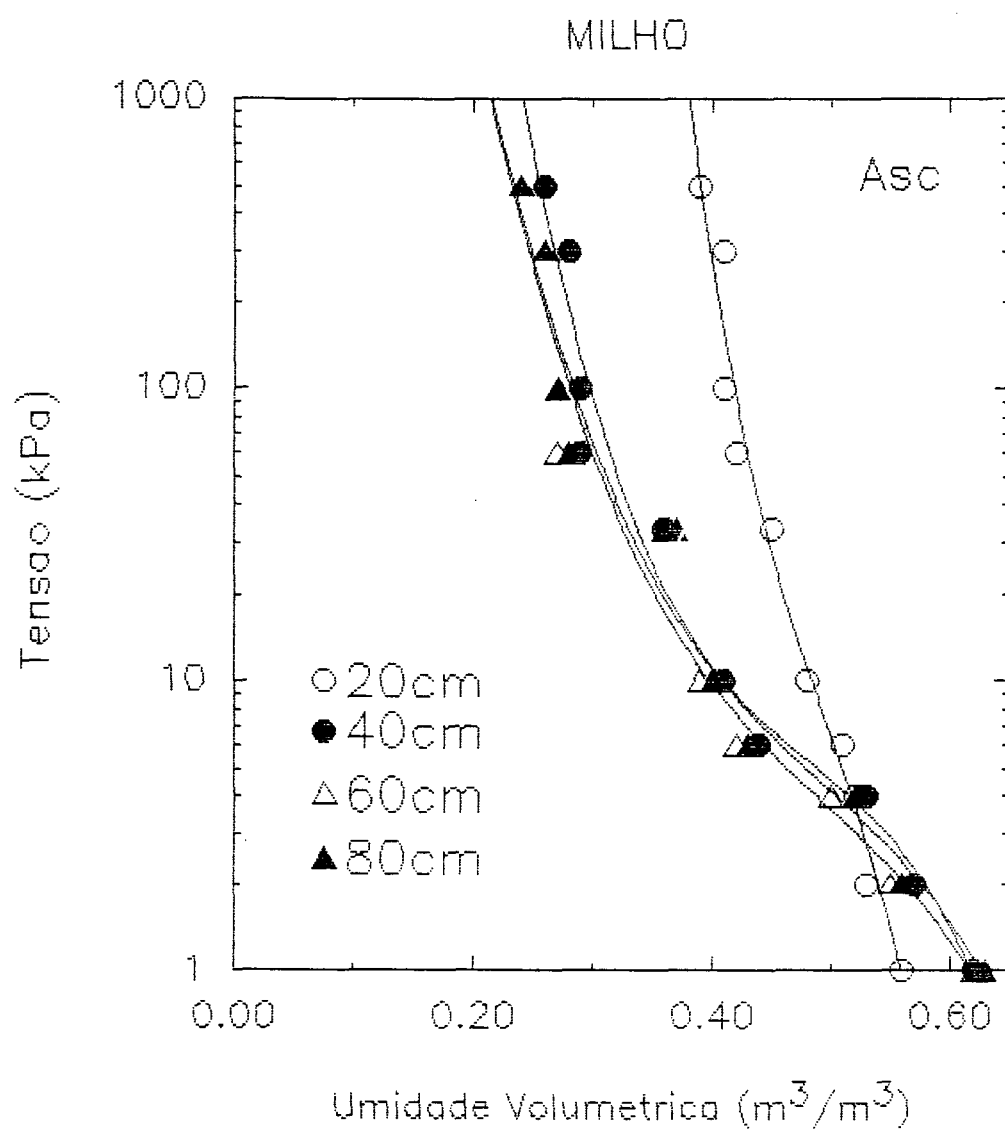


FIGURA A2 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, sem calcário, para a cultura do milho

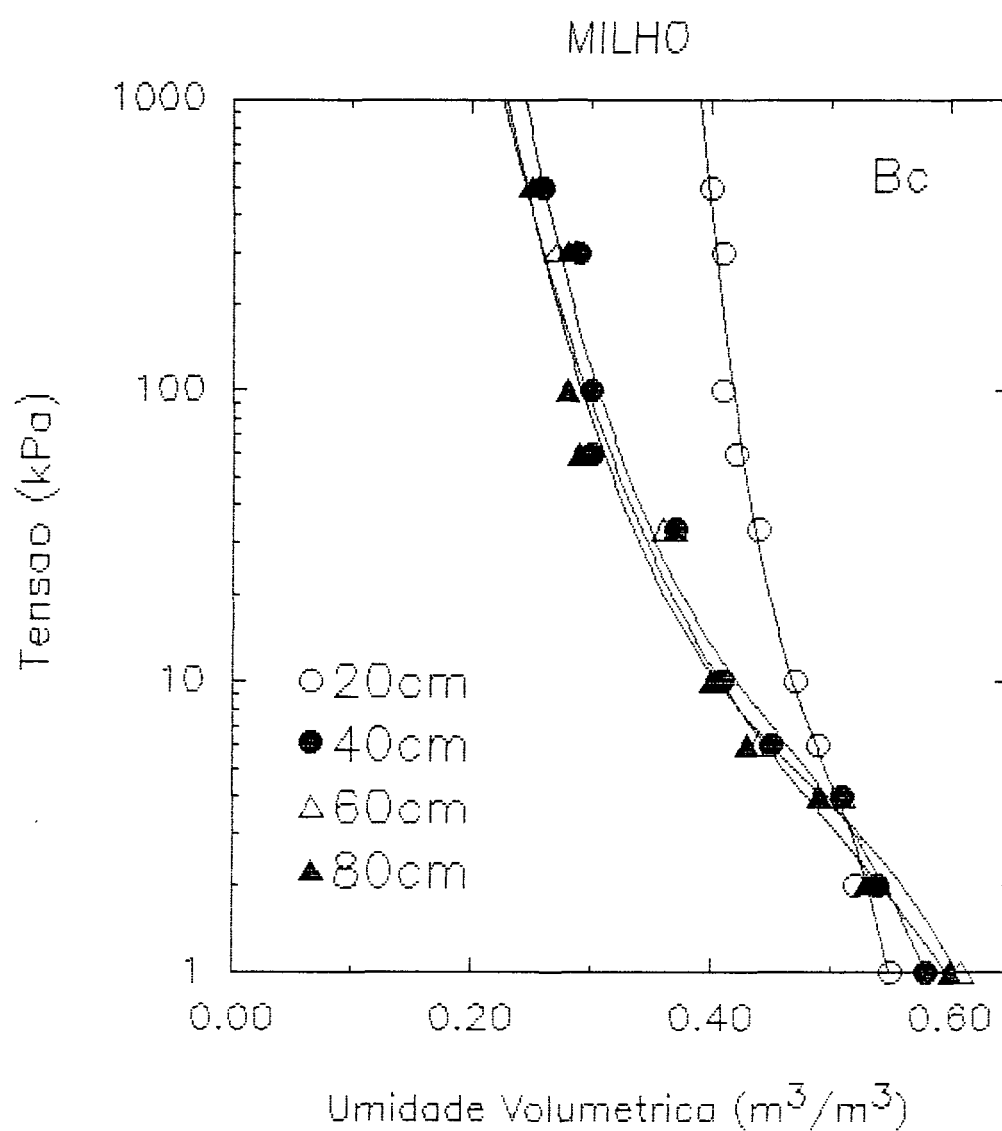


FIGURA A3 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, com calcário, para a cultura do milho

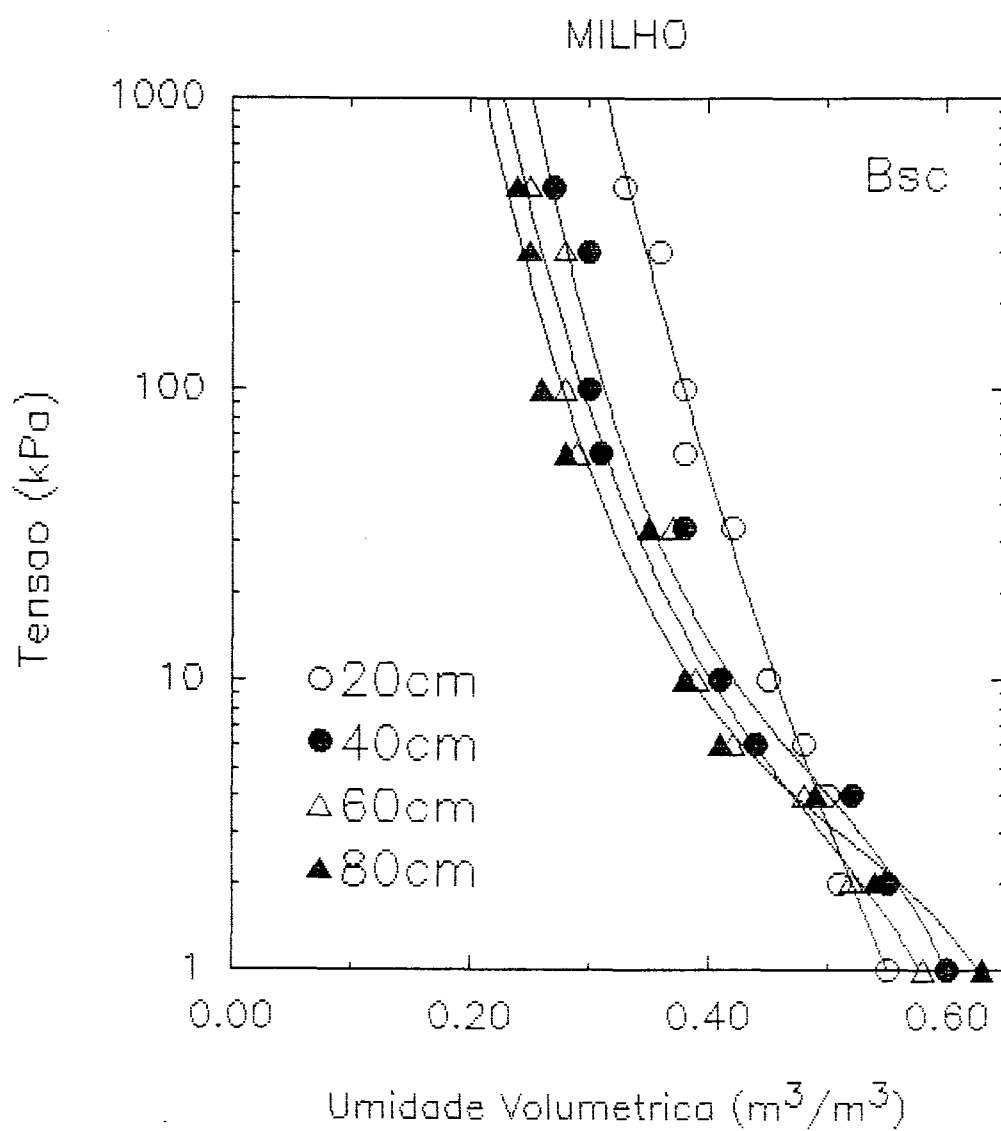


FIGURA A4 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, sem calcário, para a cultura do milho

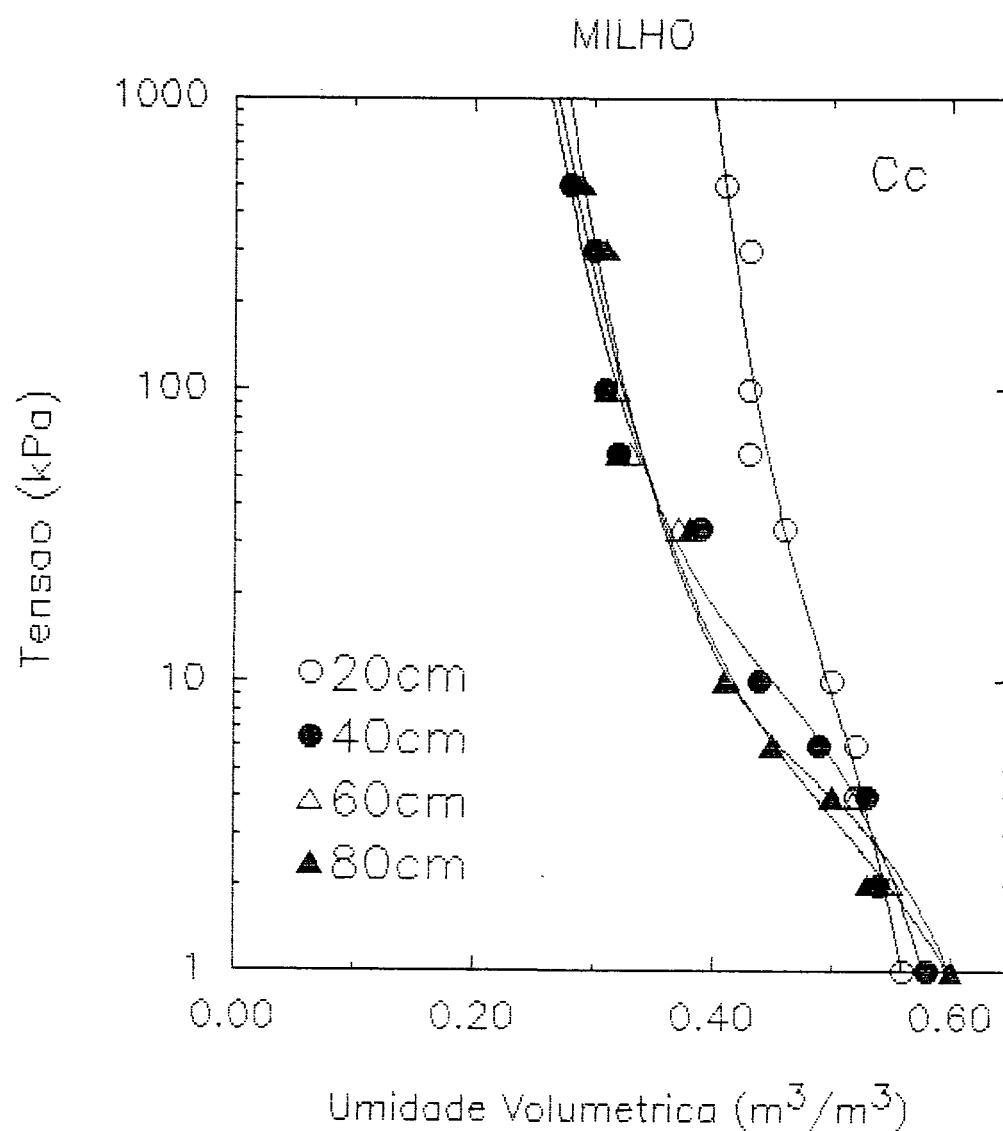


FIGURA A5 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, com calcário, para a cultura do milho

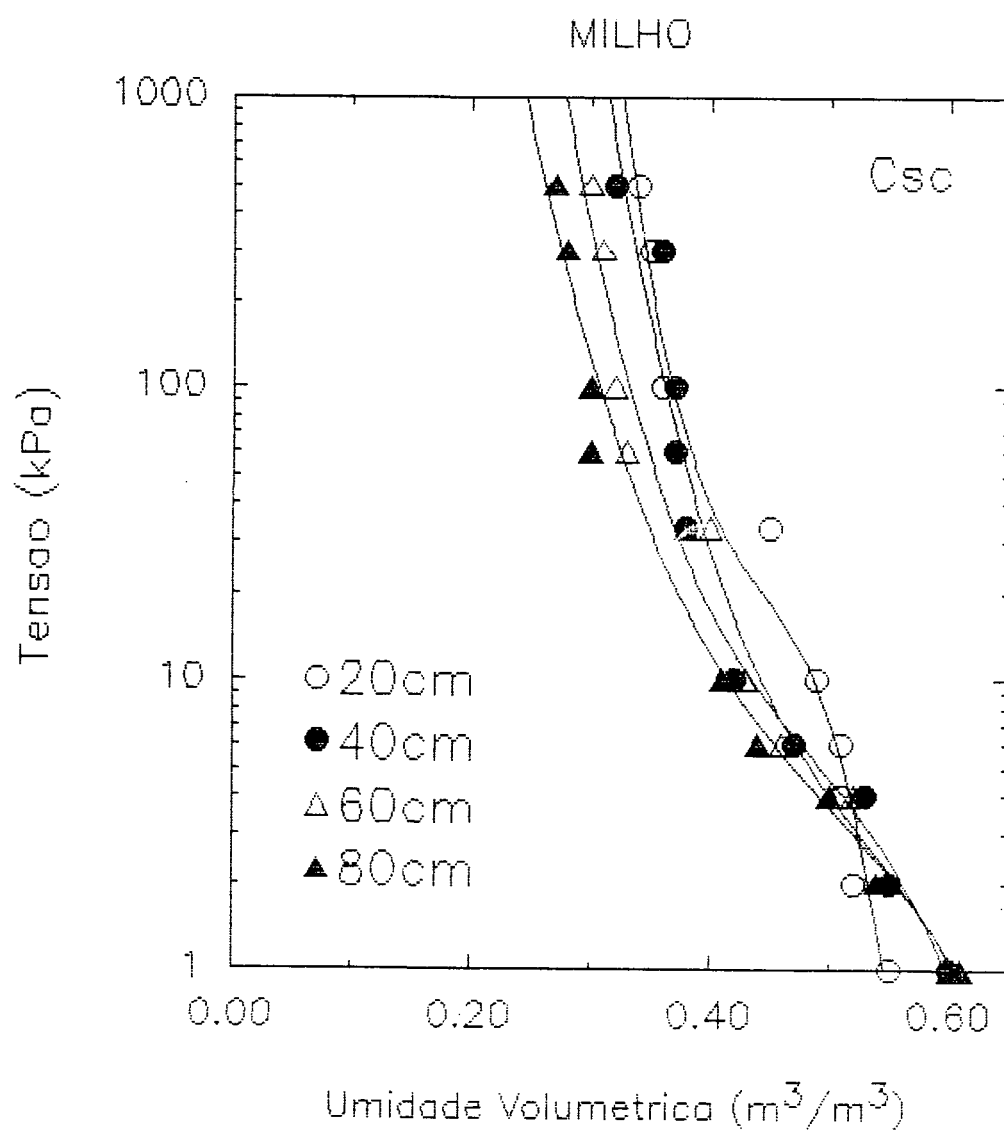


FIGURA A6 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, sem calcário, para a cultura do milho

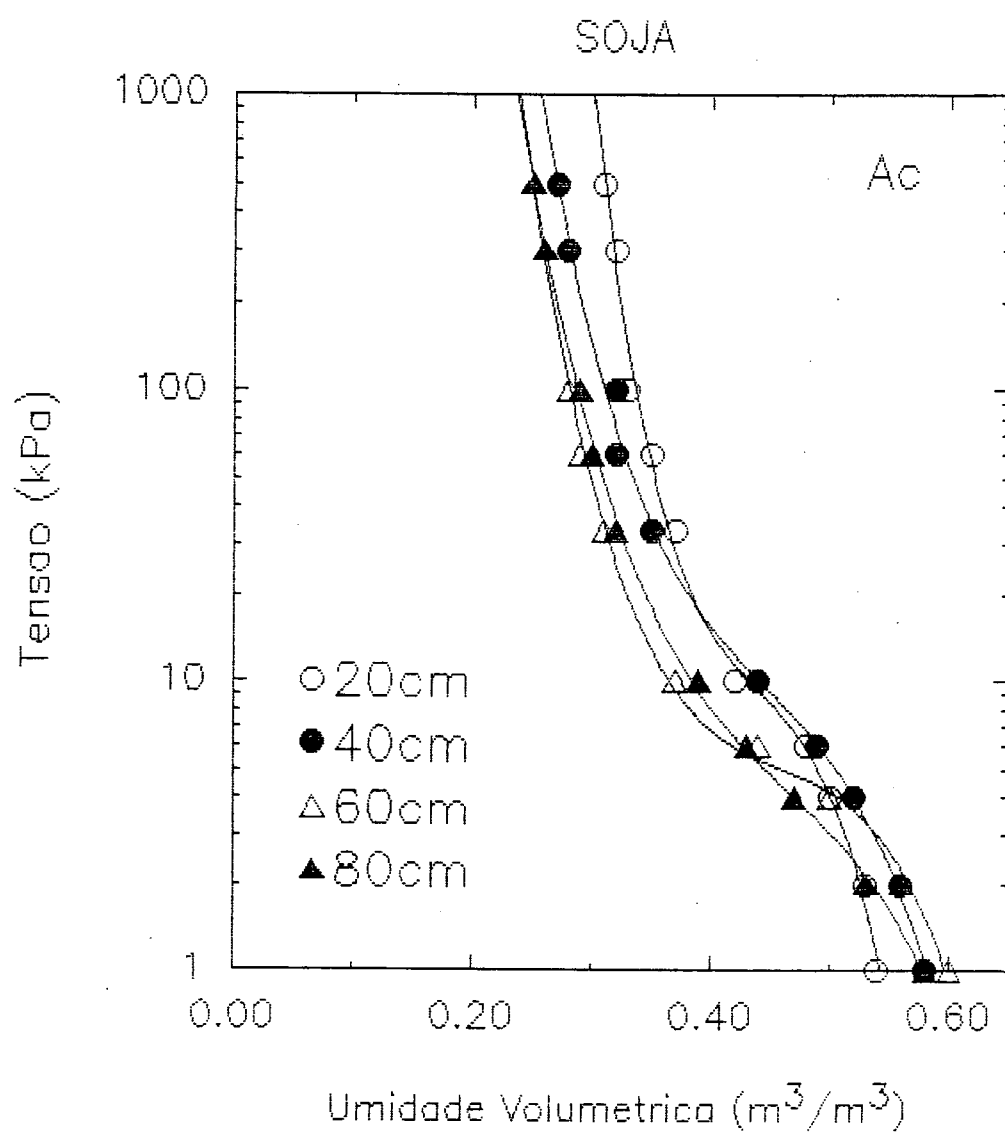


FIGURA A7 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, com calcário, para a cultura da soja

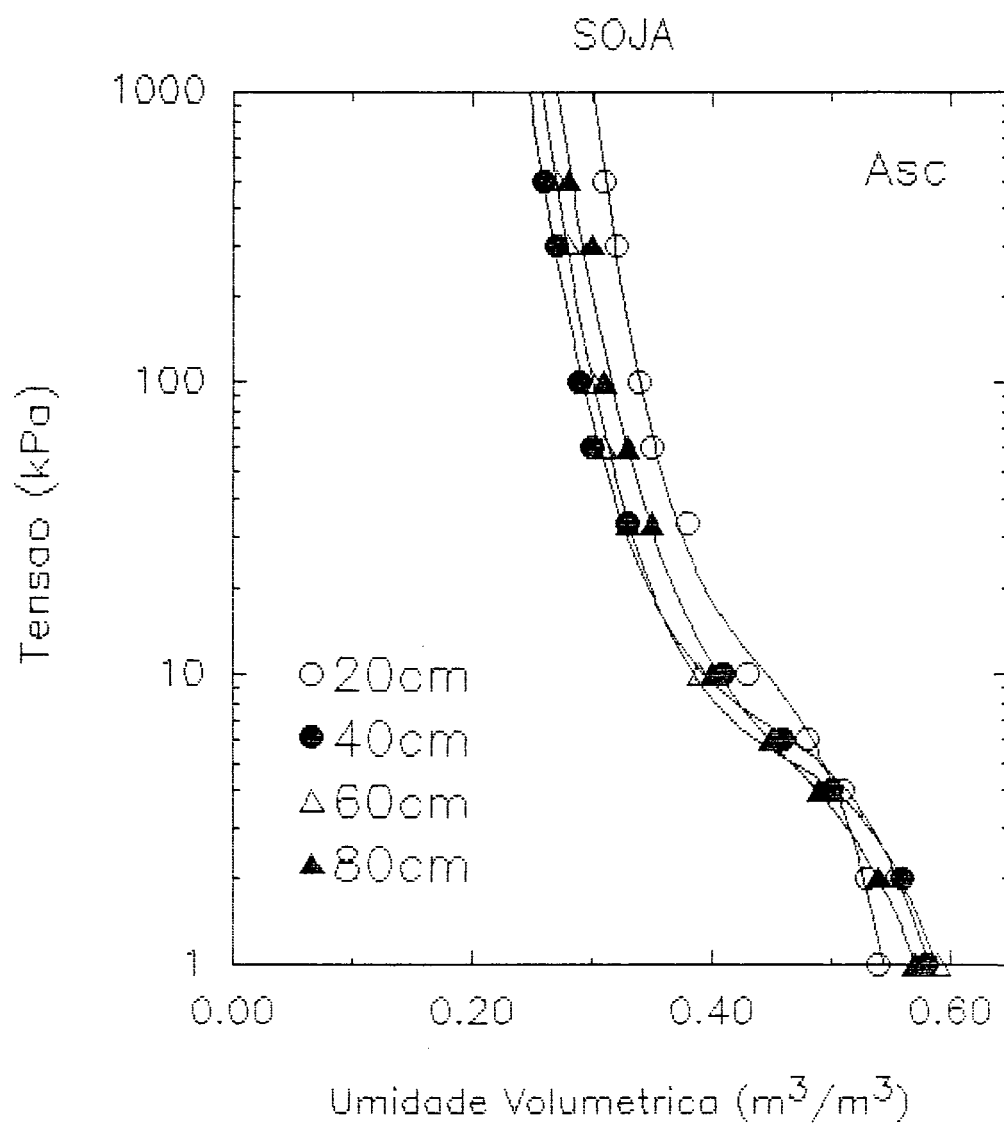


FIGURA A8 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de discos, sem calcário, para a cultura da soja

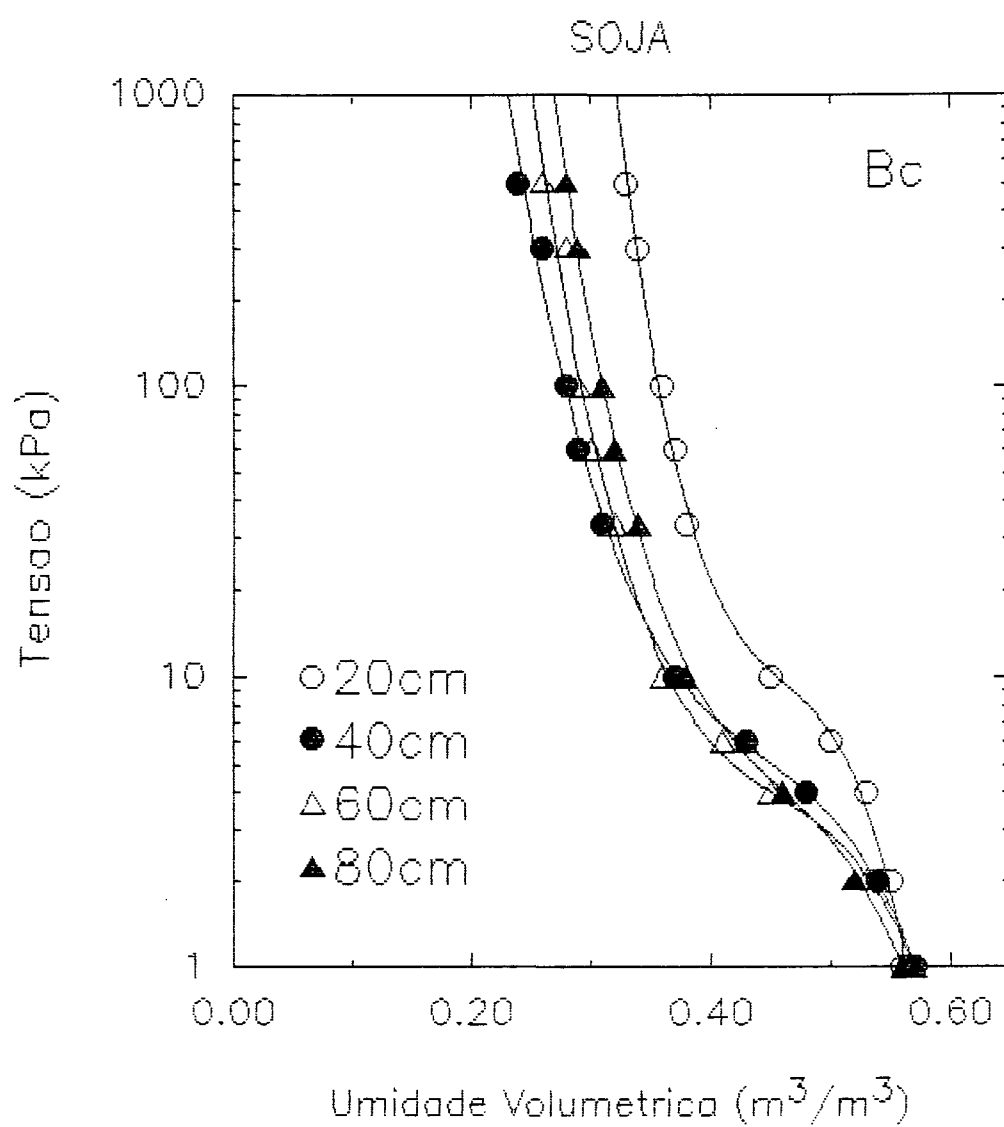


FIGURA A9 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado de aivecas, com calcário, para a cultura da soja

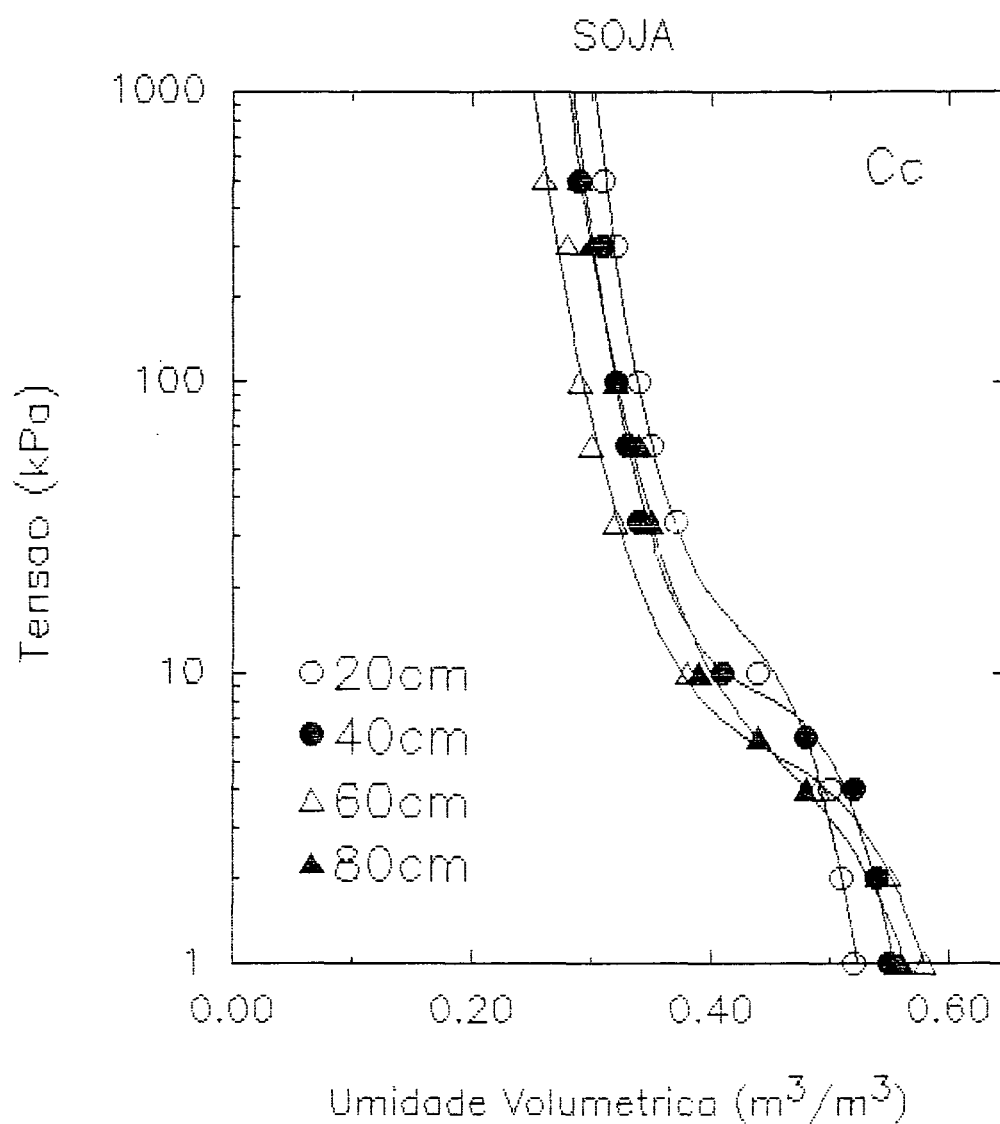


FIGURA A10 - Curva de retenção da água no solo para o tratamento de preparo com arado rotativo, com calcário, para a cultura da soja

10. LITERATURA CITADA

1. ALLMARAS, R.R.; RICKMAN, R.W.; EGIN, L.G. et al. Chiseling influences on soil hydraulic properties. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.796-803, 1977.
2. ANDREINI, M.S.; STEENHUIS, T.S. Preferential paths of flow under conventional and conservation tillage. **Geoderma**, Amsterdam, v.46, p.85-102, 1990.
3. BARBER, S.A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays L.*) root distribution and morphology. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.724-726, 1971.
4. BARBER, S.A.; MACKAY, A.D.; KUCHENBUCH, R.O. et al. Effects of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.111, p.267-269, 1988.
5. BAR-YOSEF, B.; LAMBERT, J.R. Corn and cotton root growth in response to soil impedance and water potential. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.45, p.930-935, 1981.
6. BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis, physical, chemical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
7. BOONE, F.R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.283-342, 1988.
8. CASSEL, D.K. Effects of plowing depth and deep incorporation of lime and phosphorus upon physical and chemical properties of two Coastal Plain soils after 15 years. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.89-95, 1980.
9. COMIN, J.J. **Desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays L.*) e da soja (*Glycine max (L.) Merril*) em um Latossolo Vermelho Escuro após a implantação do plantio direto**. Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

10. COX, W.J.; JOLLIFF, G.D. Growth and yield of sun flower and soybean under soil water deficits. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, n.2, p.226-230, 1986.
11. DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosidade. In: KLUTE, A. **Methods of soil analisys, physical, chemical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p.443-461.
12. DUGAS, W.A.; MEYER, W.S.;BARRS, H.D. et al. Effects of soil types on soybean crop water use in weighing lysimeters: II Root growth, soil water extration and water table contributions. **Irrigation Science**, New York, v.11, n.2, p.77-81, 1990.
13. DUNN, G.H.; PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, p.817-823, 1991.
14. DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Water extraction patterns and development of plant water deficits in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.65, n.4, p.921-933, 1985.
15. EAVIS, B.W.; PAYNE, D. Soil physical conditions and root growth. In: WHITTINGTON, W.J. **Root growth**. London: Butterworths, 1969. p.315-336.
16. EDWARDS, B.W. Predicting tillage effects on infiltration. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.105-115, 1982.
17. EDWARDS, W.M.; SHIPTALO, M.J.; OWENS, L.B. et al. Effects of *Lumbricus terrestris* L. burrows on hydrology of continuous no-till corn fields. **Geoderma**, Amsterdam, v.46, p.73-84, 1990.
18. EHLERS, W. Mensurement and calculation of hidraulic condutivity in horizons of tilled and untilled loess-derived. **Geoderma**, Amsterdam, v.19, p.293-306, 1977.
19. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. não paginado.

20. GERIK, T.J.; MORRISON Jr, J.E.; CHICHESTER, F.W. Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.434-438, 1987.
21. GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of Central Brasil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.43, p.1155-1158, 1979.
22. GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. **Clima do Paraná**. Manual Agropecuário para o Paraná. Londrina: IAPAR, 1976.
23. GOSS, M.J.; EHLERS, W.; BOONE, F.R. et al. Effects of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v.30, p.131-140, 1984.
24. HAMBLIN, A.P. Soil water behaviour in response to changes in soil structure. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.375-386, 1982.
25. HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, p.95-158, 1985.
26. HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.49, n.5, p.1264-1270, 1985.
27. HORTON, R.; ALLMARAS, R.R.; CRUSE, R.M. Tillage and compactive effects on soil hydraulic properties and water flow. In: LARSON, W.E. et al. **Mechanics and related processes in structure agricultural soils**. Ames: Applied Science, 1989. p.187-203.
28. JONES Jr, J.N.; MOODY, J.E.; LILLARD, J.H. Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p.719-721, 1969.
29. KASPAR, T.C.; BROWN, H.J.; KASSMEYER, E.M. Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement.

30. KEMPER, B.; DERPSCH, R. Soil compactation and root growth in Paraná. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R. **The Soil/Root System in Relation to Brazilian Agriculture**. Londrina: IAPAR, 1981. p.81-101.
31. KIEHL, E.J. Porosidade. In: **Manual de Edafologia/Relações Solo-Planta**. São Paulo: Ed. Ceres, 1979. p.96-111.
32. KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Ed.Nobel, 1984. p.57-111.
33. KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.29-43, 1982.
34. KLUTE, A. Water Retention: Laboratory Methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analisys, physical, chemical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p.635-686.
35. MARSHALL; HOLMES. The physical environment of roots. In: MARSHALL; HOLMES. **Soil physics**. London: Cambridge University Pres.,1979. p.264-275.
36. MAURYA, P.R.; LAL, R. Effects of no-tillage and plowing on roots of maize and leguminous crops. **Experimental Agricultural**, New York, v.16, p.185-193, 1980.
37. MCCRAY, J.M.; RADCLIFFE, D.E.; SUMNER, M.E. Influence of solution Ca on water retention and soil strength of Typic Hapludults. **Soil Science**, Baltimore, v.151, n.4, p.312-316, 1991.
38. MIELKE, L.N.; DORAN, J.W.; RICHARDS, K.A. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. **Soil & Tyllage Research**, Amsterdam, v.7, p.355-366 1986.
39. NISHIJIMA, T.; RIGHES, A.A. Escoamento superficial de água em cinco sistemas de manejo do solo com cultura do milho. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.17, n.3, p.223-233, 1987.

40. OLIVEIRA, E.F.; BAIRRÃO, J.F.M.; CARRARO, I.M. et al. **Efeito do sistema de preparo do solo nas suas características físicas e químicas e no rendimento de trigo e soja em Latossolo Roxo.** Cascavel: OCEPAR, 1990. 54p. (OCEPAR - Resultados de Pesquisa n.4).
41. ORTOLANI, A.F.; COAN, O.; SALLES, H.C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (*Glycine max (L.) Merrill*). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v.6, n.1, 1982.
42. PROVE, B.G.; LOCH, R.J.; FOLEY, J.L. et al. Improvements in aggregation and infiltration characteristics of a Krasnozem under maize with direct drill and stubble retention. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v.28, n.4, p.577-590, 1990.
43. REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Ed. Manole, 1987. p.27-69.
44. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; ESPINOZA, W. et al. Downward movement of calcium and the improvement of subsoil rooting in oxisols of Brasil. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R. **The Soil/Root System in Relation to Brazilian Agriculture.** Londrina: IAPAR, 1981. p.137-151.
45. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savana oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, n.6, p.378-382, 1982.
46. SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.D.A. Comparação da eficiência de uso de água e outras características morfo-fisiológicas de girassol e milho sob três regimes hídricos. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.21, n.3, p.233-243, 1985.
47. SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.103-106, 1983.
48. TAYLOR, H.M.; MATHERS, A.C.; LOTSPEICH, F.B. Pans in southern Great Plains

- soils. I. Why root-restricting pans occur. *Agronomy Journal*, Madison, v.56, p.328-332, 1964.
49. TAYLOR, H.M. Managing root system reduce plant water deficits. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R. *The Soil/Root System in Relation to Brazilian Agriculture*. Londrina: IAPAR, 1981. p.45-60.
 50. TORMENA, C.A. *Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciados por preparos pré-implantação calagem e tráfego*. Curitiba, 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
 51. UNGER, P.W. Wheat residue management effects on soil water storage and corn production. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.3, p.764-770, 1986.
 52. VOORHEES, W.B.; EVANS, S.D.; WARNES D.D. Effect of preplant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of spring wheat. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.49, p.215-220, 1985.
 53. VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. et al. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agronomy Journal*, Madison, v.81, p.249-303, 1989.
 54. WENDT, R.C.; BURWELL, R.E. Runoff and soil losses for conventional, reduced and no-till corn. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, p.450-454, 1985.
 55. ZAI, R.; KACHANOSKI, R.G.; VORONEY, R.P. Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.54, n.1, p.186-192, 1990.
 56. ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA Jr., P. *Sistema de análise estatística para micro-computadores*. Pelotas: UFPel, 1984. (disquete).